



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE

TAYRAN OLIVEIRA DOS SANTOS

**ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE UNIDADE DE
RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA PERNAMBUCO (SUPER) EM UMA BACIA
HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO**

Recife
2023

TAYRAN OLIVEIRA DOS SANTOS

**ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE UNIDADE DE
RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA PERNAMBUCO (SUPER) EM UMA BACIA
HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito de qualificação para obtenção do título de mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Gestão e Políticas Ambientais.

Orientadora: Josiclêda Domiciano Galvínio

Recife

2023

Catálogo na Fonte
Bibliotecário: Rodrigo Leopoldino Cavalcanti I, CRB4-1855

S237i Santos, Tayran Oliveira dos.
Índice de área foliar e validação do sistema de unidade de resposta hidrológica para Pernambuco (SUPer) em uma bacia hidrográfica do semiárido / Tayran Oliveira dos Santos. – 2023.
92 f. : il. ; tab. ; 30 cm.

Orientadora : Josiclêda Domiciano Galvínio.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2023.

Inclui referências.

1. Desenvolvimento e meio ambiente. 2. Semiárido. 3. Índice de área foliar. 4. Segurança hídrica. 5. SUPER. 6. Veículos aéreos não-tripulados. I. Galvínio, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Título.

363.7 CDD (22.ed.) UFPE (BCFCH2023-149)

FOLHA DE APROVAÇÃO

TAYRAN OLIVEIRA DOS SANTOS

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE UNIDADE DE RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA PERNAMBUCO (SUPER) EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Gestão e Políticas Ambientais.

Aprovado em: 25/05/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Josiclêda Domiciano Galvício (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^a. Dr^a. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel (Examinadora Interna)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Prof^a. Dr^a. Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva (Examinadora Externa)
Instituto Federal do Maranhão – IFMA

Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa (Examinador Externo)
Universidade Federal de Sergipe - UFS

*Ao meu avô Levi José de Oliveira (in memoriam), que não pôde
vivenciar este momento, mas tenho certeza de que ficaria muito orgulhoso.*

Te amarei para sempre!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar e tornar possível sonhos que às vezes pareciam difíceis de realizar.

À minha mãe, Leuda José de Oliveira e aos meus avós maternos por toda educação, dedicação e cuidado que tiveram e ainda tem comigo.

Aos meus irmãos, Willayne Oliveira dos Santos e Ezequias Oliveira dos Santos por todo companheirismo e incentivo. Amo vocês!

À minha orientadora Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvíncio por todas as oportunidades, ensinamentos e contribuições para minha formação pessoal e profissional. Muito obrigada!

Agradeço imensamente à Nara Tôrres, Sidney Campelo e Jadson Freire por toda contribuição, incentivo e ensinamentos, vocês foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigada!

Aos amigos que fiz ao longo dessa jornada, Josimar Reis, Igor Tibúrcio, Edna Aquino, Nayana Santos, Luana Nunes, Mykaella Santana, Jorge Ferreira, Rodrigo Lucena, Deivid Roque, Luciana Mayla e Henrique Ferreira. Vocês são muito especiais para mim!

Agradeço à todas as pessoas que compõem o laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO).

Agradeço a todos membros da banca por toda contribuição para a melhoria deste trabalho.

À Universidade Federal de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, em especial à Solange por toda dedicação e atenção com os alunos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento desta pesquisa.

À Agência Pernambucana de Águas e Clima por todo suporte concedido para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

A região semiárida do Nordeste apresenta desafios quanto a disponibilidade hídrica, então, o conhecimento da variabilidade climática em bacias hidrográficas colabora no entendimento dos processos hidrológicos e como estas variações influenciam na dinâmica vegetativa, uma vez que, o comportamento da vegetação está diretamente ligado ao processo hidrológico. O uso das geotecnologias no estudo das variáveis ambientais, dentre elas o Índice de Área Foliar (IAF) tem ajudado a compreender os processos fisiológicos da vegetação. O objetivo deste estudo foi analisar o IAF em uma bacia do semiárido por meio de dados observados e estimados e avaliar sua correlação. O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova e o IAF foi obtido por meio de imagens do satélite Landsat 8 – OLI para o período (2013-2022), Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTS), Análise do Índice de Vegetação e Água (ADIVA) e do Sistema de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER). Os resultados obtidos mostraram que os valores do IAF para toda a bacia variaram entre valores negativos até 6, sendo estes valores influenciados pela localização da área de estudo, bem como a distribuição da precipitação que se concentra nos primeiros meses do ano. Os dados do IAF do entorno do reservatório Nilo Coelho demonstraram que a ocupação urbana tem contribuído para a alteração do comportamento hídrico, onde foi possível identificar atividade fitoplanctônica, o que contribuiu para o alto valor do IAF que apresentou valores entre 0,1 e 4,2, onde os maiores valores se concentram onde há corpo hídrico coberto por florações algais, o que indica manejo inadequado da água. A atividade fitoplanctônica se concentrou principalmente nas áreas de menor altitude do reservatório, ficando mais próxima ao barramento. A validação entre o IAF do SUPER com os demais IAF não apresentaram bons valores, evidenciando que não há uma boa correlação. No entanto, os resultados deste estudo contribuem para a avaliação da dinâmica temporal do IAF colaborando no monitoramento da vegetação. Já com relação ao Adiva, sua utilização mostrou ser uma ferramenta eficiente quanto ao estudo de análises ambientais.

Palavras-chave: semiárido; índice de área foliar; segurança hídrica; super; vants; adiva; limnologia.

ABSTRACT

The semiarid region of the Northeast shows challenges regarding water availability, so the knowledge of climate variability in hydrographic basins collaborates in the understanding of hydrological processes and how these variations influence vegetative dynamics, since the behavior of vegetation is directly linked to the hydrological process. The use of geotechnologies in the study of environmental variables, among them the Leaf Area Index (LAI) has helped to understand the physiological processes of vegetation. The aim of this study was to analyze the LAI in a semi-arid basin through observed and estimated data and to evaluate its correlation. The study was developed in the Terra Nova River Hydrographic Basin and the LAI was obtained through images of the Landsat 8 – OLI satellite for the period (2013-2022), Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Vegetation and Water Index Analysis (ADIVA) and the Hydrological Response System for Pernambuco (SUPer). The results showed that the LAI value for the entire basin ranged from negative values to 6, and these values were influenced by the location of the study area, as well as the distribution of precipitation that is concentrated in the first months of the year. The LAI data from the surroundings of the Nilo Coelho reservoir demonstrated that urban occupation has contributed to the alteration of water behavior, where it was possible to identify phytoplankton activity, which contributed to the high value of the LAI that presented values between 0.1 and 4.2, where the highest values are concentrated where there is a water body covered by algal blooms, which indicates inadequate water management. The phytoplankton activity was mainly concentrated in the lower altitude areas of the reservoir, getting closer to the dam. The validation between the LAI of the SUPer with the other LAI did not present good values, evidencing that there is no good correlation. However, the results of this study contribute to the evaluation of the temporal dynamics of the LAI collaborating in the monitoring of vegetation. Regarding Adiva, its use proved to be an efficient tool for the study of environmental analyses.

Keywords: semiarid; leaf area index; water safety; super; uavs; adiva; limnology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização da bacia do rio Terra Nova, Pernambuco.....	27
Figura 2. Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção do uso e ocupação do solo.....	32
Figura 3. Balanço hídrico médio anual da bacia hidrográfica do rio Terra Nova.	33
Figura 4. Precipitação da média histórica da bacia de Terra Nova (1992-2022).....	34
Figura 5. Precipitação trimestral anterior às datas das imagens de satélite utilizadas para a obtenção do IAF.	35
Figura 6. Índice de Área Foliar da bacia do rio Terra Nova (2013-2022).	37
Figura 7. Uso e ocupação do solo da bacia do rio Terra Nova (2013-2016).	41
Figura 8. Uso e ocupação do solo da bacia do rio Terra Nova (2017-2021).	42
Figura 9. Trajetória da luz entre fonte, alvo e sensor orbital.	48
Figura 10. Passo a passo de como utilizar o ADIVA.	51
Figura 11. Mapa de localização do reservatório Nilo Coelho, Pernambuco, Brasil. ...	53
Figura 12. Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE).	55
Figura 13. Malha de quadrículas e pontos vetoriais do reservatório Nilo Coelho.....	57
Figura 14. Drone Mavic 2 Enterprise Dual utilizado para o imageamento.....	58
Figura 15. Bacia hidrográfica do rio Terra Nova no SUPer, destacando a sub-bacia Nilo Coelho, Pernambuco, Brasil.....	61
Figura 16. Características hídricas do reservatório Nilo Coelho.....	62
Figura 17. Índice de Área Foliar do entorno do reservatório Nilo Coelho.	63
Figura 18. Modelo Digital de Elevação do entorno do reservatório Nilo Coelho.....	66
Figura 19. Valor médio do IAF do SEBAL, Almeida, Machado e SUPer para o reservatório Nilo Coelho entre os anos de 2013 a 2020.....	68
Figura 20. Precipitação média mensal da bacia de Terra Nova (2013 a 2022).....	69
Figura 21. Correlação linear entre o IAF do SUPer e o IAF do SEBAL.....	70
Figura 22. Correlação linear entre o IAF do SUPer e o IAF de Almeida et al. (2019).	71
Figura 23. Correlação linear entre o IAF do SUPer e o IAF de Machado et al. (2014).	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Data das imagens Landsat 8 – OLI utilizadas para análise do IAF.	29
Tabela 2. Bandas espectrais Landsat 8.	30
Tabela 3. Classificação do uso e ocupação do solo da bacia do rio Terra Nova (2013-2021).....	44
Tabela 4. Características do satélite ALOS PALSAR.....	54
Tabela 5. Características do plano de voo.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Aeronave Autônoma
ADIVA	Análise de Índices de Vegetação e Água
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
APP	Áreas de Preservação Permanente
ASF	Alaska Satellite Facility
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EF	Extremidades Frontais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases de Efeito Estufa
IAF	Índice de Área Foliar
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
MAPBIOMAS	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
NASA	Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONGs	Organizações não governamentais
OL	Ondas de Leste
OLI	Operational Land Imager
PALSAR	Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

POAs	Perturbações Ondulatórias dos Alísios
REM	Radiação Eletromagnética
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
SAR	Sistema de Acompanhamento de Reservatórios
SAV	Vegetação Aquática Submersa
SAVI	Soil Adjusted Vegetation
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SR	Sensoriamento Remoto
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SUPER	Sistema de Unidade de Resposta Hidrológica para Pernambuco
SWAT	Soil Water Assessment Tool
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANTs	Veículos Aéreos Não-Tripulados
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZAPE	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivos Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
2	CAPÍTULO I - ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, CARACTERIZAÇÃO HIDROCLIMÁTICA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TERRA NOVA	20
2.1	INTRODUÇÃO	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1	FENÔMENOS CLIMÁTICOS QUE PROVOCAM CHUVAS NO SEMIÁRIDO	21
3.1.1	Mudanças Climáticas e seus impactos no semiárido	21
3.2	PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO (PISF)	22
3.3	SATÉLITE LANDSAT 8 - OLI	23
3.4	O USO DAS GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR	24
3.5	SISTEMA DE UNIDADE DE RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA PERNAMBUCO (SUPER)	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
4.2	DADOS METEOROLÓGICOS	28
4.3	PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT 8 - OLI	28
4.3.1	Cálculo de Reflectância	30
4.3.2	IAF Surface Energy Balance for Land - SEBAL	31
4.3.3	Uso e ocupação do solo	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	CARACTERIZAÇÃO HIDROCLIMÁTICA DA BACIA DE TERRA NOVA	33
5.2	SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÃO	34
5.2.1	Precipitação trimestral anterior as datas das imagens	35

	de satélite	
5.3	VARIABILIDADE DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA BACIA DO RIO TERRA NOVA	36
5.3.1	Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova	39
6	CAPÍTULO II – ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO NILO COELHO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE UNIDADE DE RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA PERNAMBUCO	45
6.1	INTRODUÇÃO	45
7	REFERENCIAL TEÓRICO	47
7.1	SENSORIAMENTO REMOTO EM AMBIENTES AQUÁTICOS	47
7.1.1	Presença de fitoplânctons em reservatórios do semiárido	48
7.2	VEÍCULOS AÉREOS NÃO-TRIPULADOS (VANTs)	49
7.3	ANÁLISE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ÁGUA (ADIVA)	51
8	MATERIAL E MÉTODOS	53
8.1	CARACTERIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO NILO COELHO	53
8.2	DADOS UTILIZADOS	54
8.2.1	Satélite ALOS PALSAR para obtenção de Modelo Digital de Elevação (MDE)	54
8.2.2	Cálculo de Reflectância	55
8.2.3	IAF Surface Energy Balance for Land – SEBAL	56
8.2.4	IAF Almeida	56
8.2.5	IAF Machado	56
8.2.6	Malha de quadrículas e pontos vetoriais do IAF do reservatório Nilo Coelho	57
8.3	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE DRONE	57
8.3.1	IAF de drone com Adiva	59
8.3.1.1	Calibração Radiométrica do Adiva	59
8.3.1.2	Cálculo de Reflectância no Adiva	60

8.4	IAF DO RESERVATÓRIO NILO COELHO NO SUPER	60
9	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
9.1	CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DO RESERVATÓRIO NILO COELHO	62
9.2	IAF NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO NILO COELHO UTILIZANDO O ADIVA	63
9.2.1	Modelo Digital de Elevação (MDE) e sua correlação com a presença de fitoplânctons no entorno reservatório Nilo Coelho	66
9.2.2	Validação do IAF obtido por meio do SUPer para o reservatório Nilo Coelho	68
10	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro é caracterizado por apresentar um sistema de chuvas irregulares, onde a distribuição da precipitação acontece de forma singular, resultando em chuvas intensas e secas extremas (FERREIRA et al., 2017). Segundo o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as alterações climáticas podem provocar eventos extremos ocasionando diferenças climáticas e podendo aumentar o aquecimento da terra em até 1 °C (IPCC, 2021).

As modificações no bioma Caatinga têm provocado grandes mudanças no clima da área, principalmente em decorrência do desmatamento e da substituição da vegetação nativa por áreas de pastoreio e agricultura irrigada, aumentando a produção dos Gases de Efeito Estufa (GEE) e alterando o uso e a ocupação da terra (SANTOS, 2000).

Devido a estas mudanças, as discussões em torno das questões ambientais têm sido cada vez mais frequentes, pois as modificações em decorrência das atividades antrópicas e do desenvolvimento da sociedade ocasionam mudanças no uso e na ocupação do solo. Estudos como os de FERREIRA et al., 2020; SALLO, 2018; DU e HUANG, 2017; TOLESSA; SENBETA; KIDANE, 2017, realizaram investigações e identificaram diferentes tipos de uso da terra e os impactos que eles ocasionam. A identificação do mal uso da terra pode auxiliar na melhor conservação e contribuir para uma prática mais sustentável.

Estudos acerca deste tema têm sido cada vez mais importantes na identificação de práticas inadequadas de manejo e na utilização indevida dos recursos naturais. De acordo com Bensusan (2002), a degradação da natureza intensifica as desigualdades sociais, uma vez que, a população menos favorecida terá seu acesso ainda mais limitado no que tange à aquisição de produtos e serviços.

Um dos recursos mais utilizados é a água, ela está presente em diversos setores, como por exemplo, na irrigação, na produção de energia, e no uso industrial, doméstico e ambiental (ABBASPOUR et al., 2015). Para Galvíncio (2017), estudar as relações existentes entre o conteúdo de água e outras variáveis sociais, econômicas e do ecossistema pode auxiliar a prever impactos da escassez hídrica e melhorar a tomada de decisão na bacia hidrográfica.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei 9.433/1997, elucida que a bacia hidrográfica é uma unidade territorial e que a gestão dos recursos hídricos deve acontecer de maneira descentralizada, ou seja, deve contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997). Diante disso, torna-se importante o estudo dos recursos hídricos, com o objetivo de analisar e de auxiliar uma melhor tomada de decisão. Montenegro et al. (2014), ressaltam que é necessário ter o conhecimento das diferentes variáveis hidrológicas em bacias hidrográficas, com o objetivo de obter respostas que melhorem a forma de manejo dos recursos hídricos.

O estudo de bacias hidrográficas tem sido cada vez mais importantes para a compreensão dos processos físico-químicos, conservação dos corpos hídricos e mudanças no uso e ocupação do solo. Buscando contribuir com estas investigações, tem-se aplicado cada vez mais o uso de geotecnologias, pois além de ser economicamente mais viável, é possível obter os resultados em um menor espaço de tempo. Segundo Mendonca et al., (2013), o Sensoriamento Remoto (SR) é uma tecnologia que permite a análise de um objeto. De acordo com Biswas, Sudhakar e Desai (1999), o SR surgiu como uma poderosa ferramenta para a gestão de bacias hidrográficas. O mesmo pode ser definido como uma tecnologia que utiliza sensores para obter imagens da superfície terrestre por meio da radiação eletromagnética sem a necessidade de contato direto com os mesmos (MORAES, 2002).

Diversos estudos têm sido realizados utilizando o SR para o monitoramento ambiental, Li et al. (2014) utilizaram modelos hidrológicos para acompanhar o aumento da hidrologia e de culturas; Abdon, Silva e Fernandes (1995) indicaram focos de calor resultantes do processo de queima; Alexakis et al. (2014) estudaram o impacto das inundações e as alterações no uso do solo; Fang et al. (2019) analisaram a mudança e os impactos do clima na produtividade; Wu et al. (2020) avaliaram a sensibilidade do crescimento da vegetação à precipitação.

As investigações ambientais para a estimativa da vegetação tem sido o principal objeto de estudo do SR (NOVO, 2008). Na literatura, é possível ver a sua aplicação em diversos índices de vegetação. Um destes índices é o Índice de Área Foliar (IAF).

O IAF é um dos índices mais comuns para a análise da cobertura vegetal e dos processos fisiológicos das plantas. Este índice foi desenvolvido com o objetivo de estimar a área total de folhas por unidade da superfície terrestre (WATSON,

1947; ROSS, 1981), se consolidando como um dos índices mais importantes para a previsão do rendimento de culturas e para o equilíbrio hídrico no sistema solo-água-atmosfera (KINIRY et al., 1996). Os estudos utilizando este índice têm mostrado bons resultados, contribuindo para o entendimento da dinâmica vegetativa em bacias hidrográficas.

Alguns autores têm analisado índices de vegetação em bacias hidrográficas, objetivando identificar a dinâmica da cobertura vegetal. Esta análise é fundamental, pois permite o conhecimento das características vegetativas, principalmente em áreas que passaram por grandes mudanças, como é o caso da área de estudo.

Todavia, estudar o IAF por meio de imagens de satélite apresenta desafios, principalmente com relação à cobertura de nuvens, dificultando a análise, pois esta condição reduz a visualização das condições naturais da área de estudo. Uma alternativa é a utilização dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou drones como são popularmente conhecidos.

Os drones têm sido utilizados em diversas áreas, como a pesquisa, o esporte, resgates, comunicação, bélica e comércio (BORNE, 2014). Esta tecnologia também tem sido utilizada para o monitoramento da qualidade de água e do ar, agricultura de precisão, balanço de radiação da atmosfera (CHABOT et al., 2015; VILLA et al., 2016; MONDINO; GAJJETI, 2017; LUZ; GALVÍNCIO, 2022).

Neste estudo, os drones foram utilizados para monitorar o entorno do reservatório Nilo Coelho, pois a bacia hidrográfica em estudo foi beneficiada pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

O PISF tem transformado o Nordeste brasileiro. Sua formulação se deu em função da necessidade de amenizar a seca na região Nordeste por meio da transferência das águas do rio São Francisco para as bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional, envolvendo os estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, visando garantir segurança hídrica para esta região (BRASIL, 2005).

No estado de Pernambuco, a Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova corresponde a uma área de interesse econômico devido ao seu grande potencial agrícola e agropecuário. Podemos destacar alguns usos do solo da bacia como monoculturas do milho, feijão, arroz, cebola, maracujá, pecuária, caatinga, solo exposto, corpos d'água e áreas urbanizadas (PACUERA, 2016). A economia da

região ainda é bem frágil, porém com grande potencial econômico, principalmente após o PISF.

Este estudo busca responder algumas questões norteadoras: Existe correlação entre os dados observados e os dados estimados do SUPer? Houve mudanças na cobertura vegetal e no uso e ocupação do solo para os anos analisados? A tendência da precipitação da bacia sofreu alterações? Como o balanço hídrico da bacia se comportou ao longo de toda a série de dados?

Visando compreender as relações que constituem a dinâmica da bacia é necessária uma abordagem interdisciplinar. Então, este estudo busca contemplar dois Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo eles, o 3, que diz respeito à Saúde e o Bem-estar, o de número 6 que corresponde à Água potável e saneamento e o de número 13, que aborda a Ação contra a mudança global do clima.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o Índice de Área Foliar e a variabilidade hidroclimática, bem como o uso do solo interferem na dinâmica de cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar o Índice de Área Foliar por meio de dados observados e estimados;
- Analisar dados pluviométricos para identificar a tendência da precipitação da bacia;
- Determinar o balanço hídrico da bacia em estudo;
- Analisar o uso e ocupação da terra da área de estudo;
- Identificar a presença de comunidades algais por meio da aplicação do Índice de Área Foliar;
- Validar o Índice de Área Foliar do SUPer.

2 CAPÍTULO I - ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, CARACTERIZAÇÃO HIDROCLIMÁTICA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TERRA NOVA

2.1 INTRODUÇÃO

O Índice de Área Foliar é uma das principais variáveis para a compreensão dos processos fisiológicos que ocorrem na dinâmica vegetativa. Pode ser definido como a área total de folhas por unidade da superfície terrestre, interagindo com as culturas e com o meio ambiente (CORCÓLES et al., 2013).

Segundo Montagnoli et al. (2016), a cobertura vegetal proporciona uma proteção ao solo contra o escoamento e a erosão, preservando as características físicas e minerais. A região Nordeste é uma área suscetível à erosão (ACCIOLY, 2010; SILVA et al., 2019; NETO et al., 2017; SÁ et al., 2010), isto se deve ao fato de que as chuvas estão concentradas nos primeiros meses do ano e nos demais meses há pouca ou nenhuma precipitação, quando as chuvas acontecem não há grande quantidade de cobertura vegetal, facilitando os processos erosivos.

Segundo Arcova, Cicco e Rocha (2003), a cobertura vegetal está relacionada com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Nos meses em que há pouca disponibilidade hídrica, a vegetação libera de suas folhas, evitando a perda de água pela transpiração. Nos meses chuvosos, basta apenas o mínimo contato com a água e a vegetação responde positivamente de modo muito rápido, produzindo novas folhas. Este processo dinamiza e provoca mudanças no Índice de Área Foliar, principalmente na região de estudo.

O IAF pode ser medido de duas formas: métodos diretos, que medem a área real do dossel foliar por meio de coletas de campo, porém sua execução é lenta e se torna pouco viável, principalmente quando se trabalha com grandes áreas (PAIVA, 2009), e métodos indiretos, que realizam estimativas por meio do Sensoriamento Remoto. Diversos autores têm mostrado bons resultados para estimativas de IAF usando o SR como BRAZ; ÁGUAS e GARCIA (2015); HOSSEINI et al. (2015) e BATTUDE et al. (2016).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 FENÔMENOS CLIMÁTICOS QUE PROVOCAM CHUVAS NO SEMIÁRIDO

Segundo Marengo et al. (2011), as variações espaço-temporais do clima são um fator marcante no semiárido. A média de precipitação anual é inferior a 800mm apresentando períodos de balanço hídrico negativos (MOURA et al., 2007). Além disso, a região recebe muita insolação, ocasionando temperaturas elevadas ao longo do ano (AZEVEDO, 1998).

Os eventos extremos de precipitação estão associados às Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), segundo Marengo (2008), as chuvas no semiárido apresentam grandes variações espaciais e temporais. Marcuzzo e Romero (2013), afirmam que o aquecimento superficial das águas do Oceano Pacífico dá origem a fenômenos que causam diferenciações na TSM.

De acordo com Silva et al. (2011), as chuvas na região Nordeste são influenciadas por Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Ondas de Leste (OL), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POAs) e Extremidades Frontais (EF).

Diversos autores têm se debruçado sobre os estudos das variabilidades climáticas no semiárido, com o objetivo de prever e minimizar os prejuízos causados pela escassez ou excesso de chuvas (ZANELLA, 2014; PAGOTTO et al, 2015; PELSNER, 2017; TAVARES et al., 2019; BRASIL et al, 2018).

A distribuição das chuvas ocasiona efeitos intensos nas interações ambientais (SILVA et al., 2018). De acordo com Assis et al. (2015), a região semiárida suporta estas variações, isto devido ao seu regime de chuvas ser irregular, onde as chuvas são concentradas em poucos dias e meses do ano.

3.1.1 Mudanças Climáticas e seus impactos no semiárido

De acordo com a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), o semiárido brasileiro possui uma área de 982.563 Km², abrangendo 70% da região Nordeste e com uma precipitação média inferior a 600 mm por ano (SUDENE, 2017). Historicamente, o semiárido sempre passou por períodos de grande estiagem, a irregularidade das chuvas e os baixos índices pluviométricos

contribuem para a permanência destas características. Segundo Marengo et al. (2011), a falta de sistemas eficientes para o armazenamento de água é outro grande fator de preocupação, pois aumenta a vulnerabilidade social.

As mudanças climáticas e o aumento da temperatura global poderão ocasionar diversas alterações no globo terrestre, principalmente nas zonas semiáridas, provocando diversos impactos naturais e sociais (UNITED NATIONS, 2018). O setor que mais será atingido é o da agropecuária, podendo ter um impacto de até 80%, o que provocaria efeitos na segurança alimentar e no bem-estar das comunidades rurais (FAO, 2019).

Alguns estudos apontam resultados preocupantes relacionados às mudanças climáticas no semiárido (LACERDA et al., 2015; MORAES, 2013), tornando a área vulnerável a eventos extremos de secas e de precipitação.

Estas mudanças no clima podem afetar a produção de alimentos e provocar insegurança alimentar (ASSAD; PINTO, 2008). Delazeri, Cunha e Couto-Santos (2018) estimam que o aumento da temperatura no semiárido poderá obrigar os trabalhadores a migrarem para áreas urbanas até o final do século.

O sexto relatório do IPCC destaca quatro projeções de mudanças climáticas para a região Nordeste, sendo elas: aumento da temperatura em até dois graus, redução da precipitação média, precipitações extremas acontecendo com mais frequência e prolongamento das secas (IPCC, 2021). Lacerda et al. (2015) evidenciam que as alterações climáticas provocaram o aumento da temperatura do ar.

Para identificar as mudanças climáticas em qualquer área do globo, faz-se necessária a realização de análises da tendência das séries históricas de precipitação. Pesquisadores como Insaf et al. (2012), têm estudado os índices das mudanças climáticas por meio de dados de precipitação e de temperatura, objetivando identificar e analisar as tendências das variações climáticas.

3.2 PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO (PISF)

A região semiárida do Nordeste tem estado submetida a escassez e a irregularidade de chuvas, visando amenizar os riscos e garantir segurança hídrica para a população, o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) foi idealizado.

A Resolução 47/2005, de 17 de janeiro de 2005, criada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), aprovou o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional. O PISF se divide em dois eixos de ligação, sendo eles: o Eixo Norte e o Eixo Leste, contemplando os estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará.

O PISF levará águas para mais de 12 milhões de pessoas em 390 municípios dos estados beneficiados e 294 comunidades rurais às margens dos canais. Em 2022, foi estimado que mais de sete milhões de pessoas estariam sendo beneficiadas (ANA, 2022).

As águas são captadas em Cabrobó e no reservatório de Itaparica em Pernambuco e percorrem 720 km. A captação em Cabrobó integra o eixo Norte e possui uma extensão de 402 km de canais artificiais e 26 reservatórios de pequeno porte, o eixo Leste integrado pelo reservatório de Itaparica possui 200 km de extensão e nove reservatórios (BRASIL, 2004).

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o PISF tem como objetivo principal garantir a oferta de água, tendo em vista, que a hidrologia desta região é reduzida devido os rios do Nordeste serem intermitentes e possuírem um alto teor de evapotranspiração (ANA, 2017). Alguns autores têm realizado estudos sobre a transposição do rio São Francisco (RÊGO et al., 2017; FERREIRA, 2017; CRUZ, 2018; COSTA; OJIMA, 2020), analisando a gestão das águas, a eficiência do projeto com relação a amenização da seca e da vulnerabilidade sociodemográfica e a produção agrícola das famílias.

A bacia hidrográfica deste presente estudo integra o Eixo Norte do PISF e foi beneficiada com a construção de cinco reservatórios, sendo eles: Terra Nova, Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros e Milagres, estes reservatórios foram construídos para garantir o abastecimento humano e promover a segurança hídrica.

3.3 SATÉLITE LANDSAT 8 - OLI

O Programa Landsat desenvolveu uma série de satélites, entre eles o Landsat 8 que foi construído por meio de uma parceria entre a Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica (NASA) e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Seu lançamento aconteceu em 11 de fevereiro de 2013 na Base da Força Aérea de Vandenberg na Califórnia. O Landsat 8 possui dois instrumentos científicos, os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Estes sensores possibilitam o imageamento terrestre numa resolução espacial de 30 metros.

Este satélite possibilitou um avanço evolutivo na tecnologia, pois seus sensores são mais avançados que os satélites que o antecederam, conseguindo coletar dados para bandas espectrais de infravermelho visível, infravermelho próximo, ondas curtas e banda pancromática, ao total o Landsat 8 possui 11 bandas, sendo 9 delas espectrais (NASA, 2023).

Diversos estudos têm utilizado imagens do Landsat 8 para análise ambiental (ROY et al., 2016; SCHROEDER et al., 2016; GAMEIRO et al., 2016; LINS et al., 2017; SILVA et al., 2019; PERUZZO et al., 2019; CHAVES; PICOLI e SANCHES, 2020; BRITO; OLIVEIRA; MORAIS, 2020; SILVERO et al., 2021; SILVEIRA et al., 2022). A utilização deste satélite pela comunidade científica reforça ainda mais a importância e a qualidade das imagens geradas para os estudos ambientais.

3.4 O USO DAS GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

A utilização das geotecnologias tem possibilitado o estudo de diversas variáveis ambientais e sua utilização tem se tornado cada vez mais indispensável no monitoramento ambiental. Dentre os diversos estudos, destaca-se a análise da cobertura vegetal, mudanças no uso e ocupação do solo e o monitoramento dos recursos hídricos (BEZERRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2017; SILVA et al., 2017).

Um dos principais índices que avaliam a cobertura vegetal é o IAF, seus resultados podem ser obtidos por meio da utilização de sensores orbitais como é o caso do Landsat, Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs), mais recentemente, por meio do Sistema de Unidade de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER), que utiliza a modelagem hidrológica como ferramenta para avaliar o solo e a água e o aplicativo Análise de Índices de Vegetação e Água (ADIVA), que processa imagens obtidas por meio de satélites ou VANTs.

Diversos estudos têm utilizado o IAF para avaliação da cobertura vegetal principalmente em ambientes semiáridos (PATANÈ, 2011; MACHADO, 2014;

AYYOUB et al., 2017; ALMEIDA, CARVALHO e ARAÚJO, 2019; MIRANDA et al., 2020; GALVÍNCIO et al., 2020; PAUL et al., 2021).

Estes estudos possibilitam uma análise da vegetação e o monitoramento por meio dos índices de vegetação é possível diferenciar as informações espectrais da superfície terrestre e identificar a qualidade e quantidade de vegetação, contribuindo assim para uma melhor tomada de decisão (RIBEIRO et al., 2016; LINS et al., 2017).

3.5 SISTEMA DE UNIDADE DE RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA PERNAMBUCO (SUPER)

A modelagem hidrológica é uma ferramenta importante, pois é capaz de representar os processos físicos de um sistema gerando informações que ainda não estavam disponíveis, contribuindo para a gestão e tomada de decisão acerca do uso do solo e da água (ANDRADE et al., 2016).

Diversos autores têm utilizado a modelagem hidrológica para o estudo de análises ambientais (GAN et al., 2014; BRESSIANI et al., 2015; MIRANDA, 2017; MAGALHÃES et al., 2018). Estes estudos contribuem para o planejamento e auxiliam na tomada de decisão.

Diante do exposto, o Sistema de Unidade de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER) foi desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), *Texas A&M University*, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), e o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

O SUPER é um sistema interativo de modelagem hidrológica e qualidade de água e utiliza como base o modelo hidrológico *Soil Water Assessment Tool* (SWAT), permitindo obter resultados que incluem tabela, gráficos e dados de saída para analisar culturas, solos, tipos de vegetação, usos da terra, cenários de mudanças climáticas e parâmetros de qualidade de água, como sedimentos, patógenos, nutrientes, oxigênio, pesticidas e temperatura da água (SUPER, 2022).

Apesar do SUPER ser uma ferramenta recente, é possível encontrar trabalhos que apresentam a eficácia da sua aplicabilidade, tais como o de (FREIRE-SILVA et al., 2022), que analisaram a evapotranspiração diária no entorno de reservatórios do semiárido, (LUZ; GALVÍNCIO, 2021), que avaliaram o balanço hídrico de uma bacia

hidrográfica, (SILVEIRA et al., 2022), que analisaram dados de qualidade de água da bacia hidrográfica do Rio Moxotó.

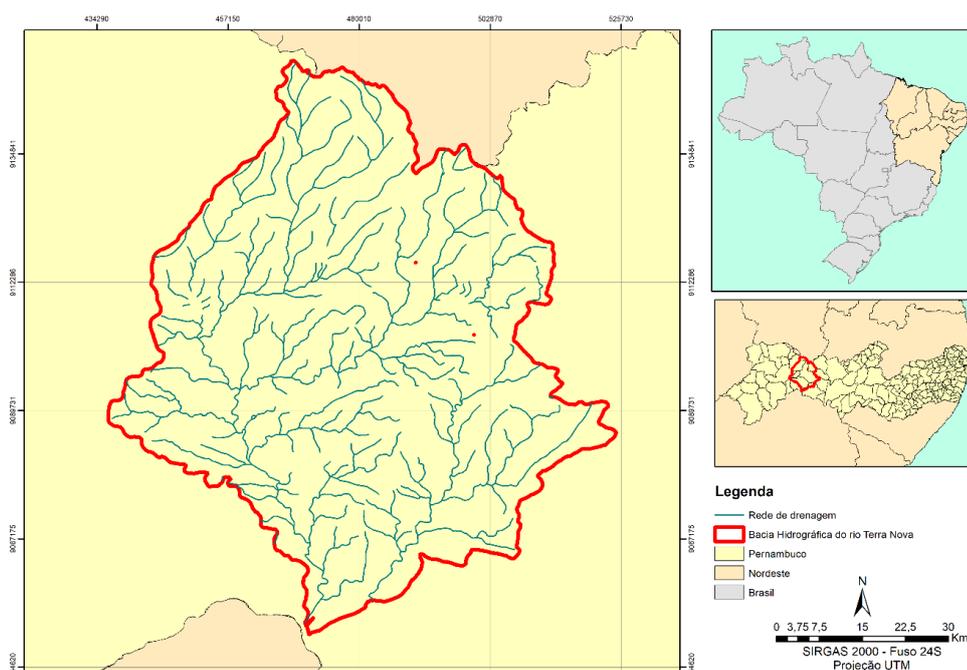
Entretanto, ainda não há estudos que avaliem o IAF em bacias hidrográficas utilizando o SUPer. Ressalta-se a necessidade de mais pesquisas voltadas à análise de índices de vegetação, visando corroborar com estudos ambientais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova apresenta uma área de 4.887, 71 km² e seu rio principal, o rio Terra Nova tem uma área total de 40 km². Está entre a latitude de 7°40'20" e 8°36'57" sul e longitude 38°47'04" e 39°35'58" oeste, estando localizada no semiárido pernambucano (Figura 1). Abrange 12 municípios, sendo eles: Cedro, Salgueiro, Terra Nova, Serrita, Verdejante, Belém do São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Mirandiba, Orocó, São José do Belmonte e Parnamirim.

Figura 1. Localização da bacia do rio Terra Nova, Pernambuco.



Fonte: A autora (2022).

Limita-se ao norte com o estado do Ceará, ao sul com os grupos de bacias de pequenos rios interiores 4 e 5 – GI4 (UP23) e GI5 (UP24) e o rio São Francisco e a leste com a bacia do rio Pajeú (UP9) e a oeste com a bacia do rio Brígida (UP11) (APAC, 2022).

A bacia de Terra Nova tem uma precipitação média anual de 431,8 mm e seu período chuvoso se inicia em novembro e termina em abril. De acordo com a

classificação de Köppen, a bacia possui um clima semiárido quente, sendo marcada por instabilidades pluviométricas devido a predominância de dias secos ao longo do ano (CORREIA et al., 2011).

A vegetação predominante nesta área é a Caatinga arbustiva e caatinga arbórea, podendo ser densa ou aberta, esta variação fisionômica interfere na densidade e porte das plantas. O principal tipo de vegetação é a savana estépica, onde há a predominância de cactos, árvores e arbustos pequenos que perdem suas folhas durante a estação seca (FREITAS et al., 2009).

De acordo com o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE), há uma variação nos solos da bacia com predominância de Luvisolos, Planossolos, Argissolos e Neossolos (EMBRAPA, 2001). As principais atividades desenvolvidas são: agricultura, agropecuária extensiva, comércio e serviços. A área de estudo apresenta desafios quanto às suas características naturais e ao uso da terra.

4.2 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados de precipitação mensal utilizados na presente pesquisa pertencem a estação convencional de Cabrobó, município que integra a área de estudo. Os dados foram adquiridos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), buscou-se fazer uma análise dos últimos 30 anos de precipitação da bacia, então o período de dados selecionados corresponde aos anos de 1992 a 2022.

4.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT 8 - OLI

As imagens utilizadas no presente estudo foram adquiridas gratuitamente pelo site do USGS. Foram utilizadas imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8, as imagens selecionadas correspondem ao período seco da bacia, entretanto, em alguns anos houve muita cobertura de nuvens em todos os meses, mesmo assim optou-se por selecioná-las para ter um período de análise maior.

As datas das imagens compreendem o período seco da bacia, os principais meses analisados foram: setembro, outubro, novembro e dezembro. Para realizar estudos de análise ambiental com imagens de satélite, é necessário que a qualidade

das imagens tenha uma boa resolução e principalmente, que haja pouca cobertura de nuvens.

Para analisar o IAF, foram selecionadas imagens dos anos de 2013 a 2022 (Tabela 1), priorizando a menor quantidade de nuvens, proximidade das datas entre as órbitas e pontos que compõe a bacia, sendo eles: órbitas 216 e 217 e pontos 065 e 066.

Após a aquisição das imagens foi realizada a composição colorida das bandas 2 a 7 (Tabela 2), em seguida foi realizada a reprojeção para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) e para o *Universal Transversa de Mercator* (UTM), zona 24S utilizando os *softwares Arcgis e Erdas*.

Tabela 1. Data das imagens Landsat 8 – OLI utilizadas para análise do IAF.

Ano	Data das imagens	Órbitas	Pontos
2013	30/10	216	065
	05/10	217	066
2014	15/09	216	065
	01/10	217	066
	22/09		
2015	02/09	216	065
	09/09	217	066
2016	23/11	216	065
	29/10	217	066
2017	26/11		
		216	065
	12/12	217	066
	30/09		
2018	06/10		
	13/11	216	065
2019	17/09	217	066
	20/09	216	065
2020	16/11	217	066
	18/11	216	065
	20/12	217	066
2021	08/10		
	04/10	216	065
	02/09	217	066
2022	09/09		
	31/10	216	065

30/10

217

066

 Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A tabela 2 apresenta as bandas do satélite Landsat 8- OLI, além do Instrumento Térmico (TIRS) que comporta 2 bandas térmicas infravermelhas adicionais.

Tabela 2. Bandas espectrais Landsat 8.

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Resolução espacial (m)
1 - Costeira	0.43 - 0.45	30
2 - Azul	0.45 - 0.51	30
3 - Verde	0.53 - 0.59	30
4 - Vermelho	0.64 - 0.67	30
5 – Infravermelho próximo (NIR)	0.85 - 0.88	30
6 – Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
7 – Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 2	2.11 - 2.29	30
8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15
9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
10 – Infravermelho térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
11 - Infravermelho térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

 Fonte: Adaptado de Landsat Science (2023).

4.3.1 Cálculo de Reflectância

O cálculo da reflectância se dá por meio do ângulo zenital solar (Z) e o quadrado da razão da distância Terra-Sol. A reflectância do sensor OLI (Eq. 1) foi calculada de acordo com a equação proposta por Chander e Markham (2003):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{(Add_{refb} + Mult_{refb} \cdot ND_b)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (1)$$

Onde, Add_{refb} e $Mult_{refb}$ representam o valor aditivo e multiplicativo da refletância para cada banda do arquivo MTL, ND_b representa dos números digitais da imagem, o $\cos Z$ representa o ângulo cosseno zenital solar (Eq. 1) e o d_r representa a correção da excentricidade da órbita terrestre (Eq. 2 e 3) (SILVA et al., 2016).

$$\cos Z = \cos (90 - Z) \quad (2)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{TS}}\right)^2 \quad (3)$$

Onde, d_{TS} é a distância Terra-Sol da imagem no arquivo MTL.

4.3.2 IAF Surface Energy Balance for Land - SEBAL

O IAF do SEBAL tem como base o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e é calculado aplicando a seguinte equação proposta por ALLEN et al., (2002).

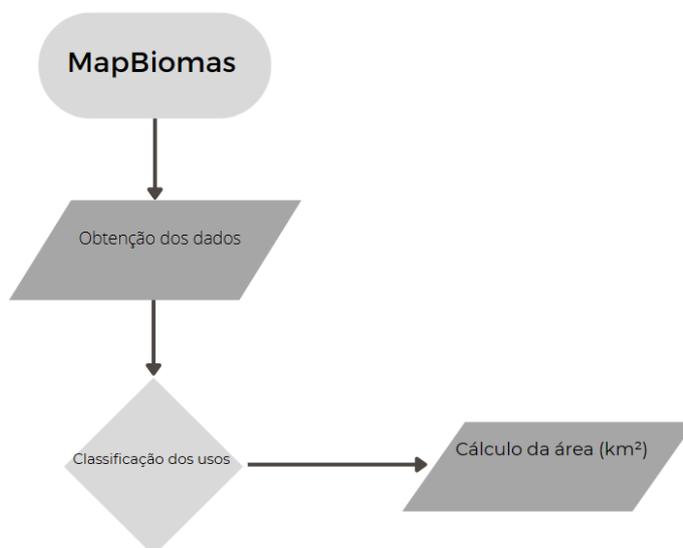
$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (4)$$

4.3.3 Uso e ocupação do solo

O mapeamento do uso e cobertura do solo foi realizado por meio do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS), formando por Organizações Não Governamentais (ONGs), Universidades e startups de tecnologias.

Foram analisados os anos de 2013 a 2021. O ano de 2022 não foi analisado devido aos dados ainda não estarem disponíveis na plataforma do MapBiomass. Para obter os resultados, foram adotados os procedimentos mostrados na (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção do uso e ocupação do solo.



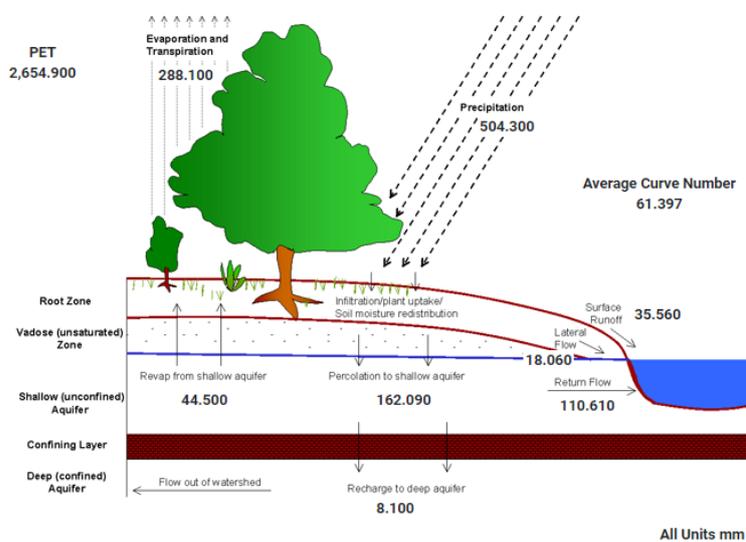
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROCLIMÁTICA DA BACIA DE TERRA NOVA

O balanço hídrico médio anual da área de estudo foi obtido por meio do SUPer, esta plataforma possui uma série temporal de dados para o período de janeiro de 1961 até março de 2021. Nota-se que a precipitação média é de 504,3 mm, onde 52% desta precipitação é perdido para evapotranspiração real. A percolação é de 162 mm, porém, apenas 32% da precipitação é percolada, o retorno de água para a superfície por meio de aquíferos rasos fica em torno de 44,5 mm, ou seja, 27% da precipitação retorna para a superfície por meio de poços artesianos ou outras formas de obtenção de água. O fluxo de retorno é de 110 mm, correspondendo a 21% da precipitação anual (Figura 3).

Figura 3. Balanço hídrico médio anual da bacia hidrográfica do rio Terra Nova.



Fonte: Adaptado de SUPer (2023).

O balanço hidroclimático é um indicador de disponibilidade hídrica de uma área, por meio dele é possível identificar deficiências ou excedentes hídricos (SENTELHAS et al., 1999). Foi selecionada toda a série de dados contida no SUPer para a análise hidroclimática da bacia de Terra Nova.

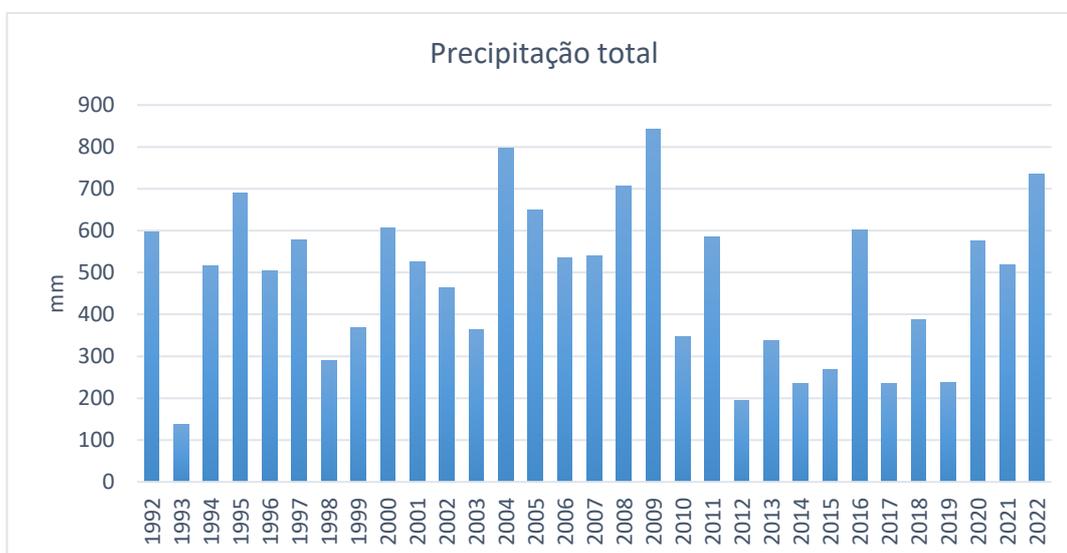
Barros (2010), afirma que a baixa pluviosidade quando associada à elevadas temperaturas e à altas taxas de evapotranspiração pode interferir diretamente no balanço hídrico da região, podendo assumir comportamentos de déficit hídrico.

A partir disso, podemos concluir que a bacia de Terra Nova perde mais de 50% da sua precipitação por evapotranspiração real, diminuindo o seu acumulado hídrico, o que é preocupante, pois, esta é uma área com grande demanda hídrica que pode ser intensificada com o aumento de temperatura da superfície consequente das mudanças climáticas.

5.2 SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÃO

A precipitação média anual da bacia de Terra Nova para toda a série histórica foi de 519,2 mm ano⁻¹, enquanto a precipitação média no período de 2013 a 2022 foi de 336,2 mm ano⁻¹ (Figura 4).

Figura 4. Precipitação da média histórica da bacia de Terra Nova (1992-2022).



Fonte: Adaptado de INMET (2022).

Considerando a série analisada neste estudo, compreendendo o período de 2013 a 2022, o ano com a maior precipitação foi 2022, com um volume de chuvas de 703,9 mm ano⁻¹, quando foram registradas chuvas mais volumosas no período chuvoso comparando com o ocorrido em alguns dias do período seco.

A precipitação da bacia de Terra Nova apresenta alguns picos, no entanto, por estar inserida em uma região de semiárido, suas características climáticas

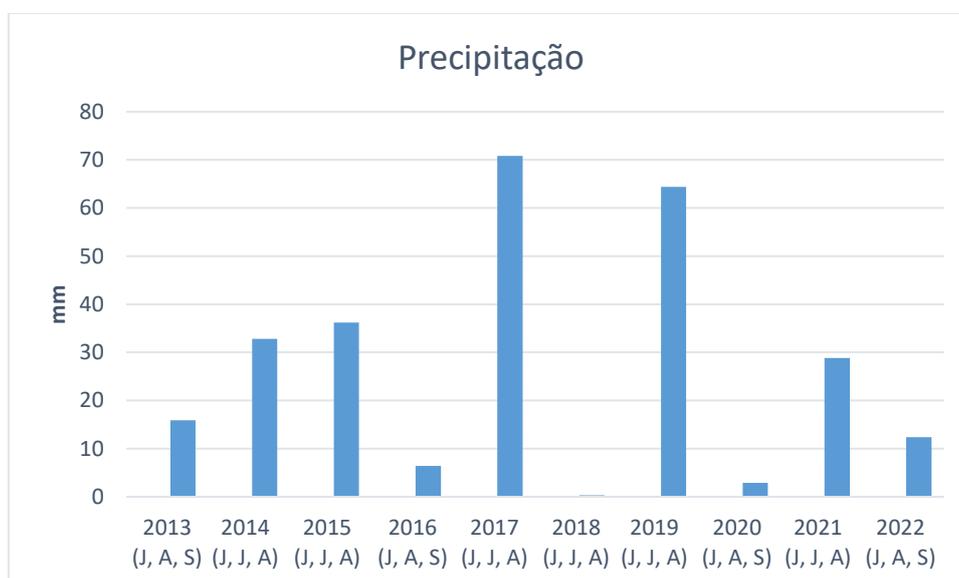
apresentam baixa umidade, temperaturas elevadas, altas taxas de evapotranspiração e déficit hídrico (SOARES, 2012).

5.2.1 Precipitação trimestral anterior as datas das imagens de satélite

Em grande parte do ano, a vegetação do bioma Caatinga não apresenta grande densidade de folhas, isto ocorre devido ao clima seco característico desta região. Ao analisar índices de vegetação, é importante compreender a dinâmica hídrica da área e o tempo de resposta da vegetação e dos acumulados hídricos.

Para entender estes processos, buscou-se analisar três meses dos acumulados hídricos anteriores as datas das imagens de satélite analisadas neste estudo. A precipitação média trimestral entre 2013 e 2022 foi de 270,9 mm (Figura 5).

Figura 5. Precipitação trimestral anterior às datas das imagens de satélite utilizadas para a obtenção do IAF.



*J, J, A: Junho, Julho, Agosto, J, A, S: Julho, Agosto, Setembro.

Fonte: Adaptado de INMET (2023).

Os meses que obtiveram maior precipitação na bacia foram junho, julho e agosto, com o maior acumulado no ano de 2017 no valor de 70,8 mm. Já os meses que apresentaram valores menores correspondem a julho, agosto e setembro.

Silva et al. (2010), analisaram a variação espaço-temporal da precipitação na Bacia Hidrográfica do rio Tapacurá e identificaram uma variabilidade alta. Os autores Andrade et al. (2018), em um estudo realizado na região Agreste, também identificaram grande variabilidade na precipitação e o mesmo ocorre com a Bacia do rio Terra Nova.

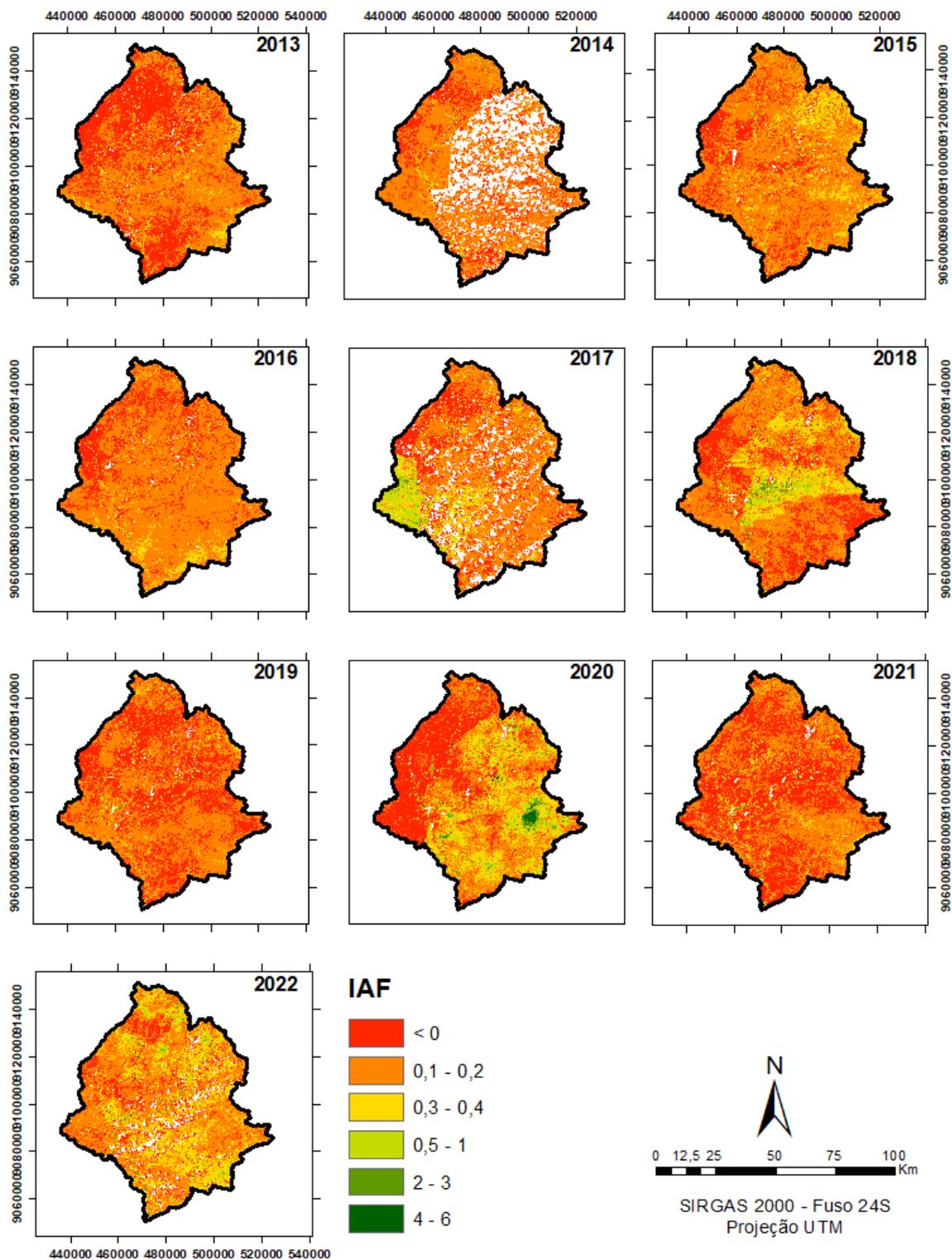
Ao correlacionar o acumulado trimestral de precipitação com os valores de IAF apresentados na Figura 6, nota-se que apesar das precipitações anteriores não possuírem valores significativos, elas foram importantes para a manutenção das áreas com vegetação na bacia e os meses subsequentes costumam ser extremamente secos.

5.3 VARIABILIDADE DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA BACIA DO RIO TERRA NOVA

A análise temporal do IAF da bacia de Terra Nova compreende os anos de 2013 a 2022 (Figura 6). A área possui uma vegetação de savana estépica e no período seco as plantas liberam suas folhas como mecanismo de defesa para preservar a água captada e se manter viva durante todo o período de escassez hídrica. É possível observar que os menores valores de IAF são apresentados nas cores mais quentes, variando entre valores negativos até 0,4, o que indica pouca cobertura vegetal, as cores mais frias representam as áreas mais bem vegetadas da bacia com valores entre 0,5 e 6.

Percebe-se que em 2018, a parte central da bacia apresenta cores mais frias. Essas áreas estão sendo beneficiadas pelo Projeto de Integração do São Francisco. É possível perceber os impactos positivos do PISF na exuberância da cobertura vegetal. Em 2019, essa área não aparece em destaque porque o sistema do PISF funciona de forma intercalada, com fechamento e abertura de válvulas dispersoras dos reservatórios construídos, além de toda a interferência da variação e da intensidade da precipitação durante o ano.

Figura 6. Índice de Área Foliar da bacia do rio Terra Nova (2013-2022).



Fonte: A autora (2022).

Os resultados encontrados neste estudo apontam que a ação antrópica e a variabilidade climática estão diretamente associadas às alterações da dinâmica da cobertura vegetal. A baixa pluviosidade na área interfere diretamente na dinâmica vegetativa, pois a pouca disponibilidade hídrica faz com que o IAF se mantenha com valores baixos durante quase todo o ano. Estes resultados também foram observados no semiárido do Mediterrâneo (PATANÈ, 2010), demonstrou que em ambientes onde há uma maior disponibilidade de água, o crescimento foliar se desenvolve melhor.

Lins et al. (2019), desenvolveram estudos na bacia hidrográfica do Alto Ipanema e encontraram valores de IAF entre 0 e 6, onde as áreas que apresentaram valores maiores mostraram a influência da precipitação e os menores valores de IAF se deve às baixas precipitações. Wanderley et al. (2017), analisaram a variação do IAF na bacia do Taperoá e encontraram valores entre 0,09 e 5, onde a maior densidade de folhas ocorreu no período chuvoso e a menor densidade no período seco, corroborando com os valores encontrados neste estudo.

Estudos de Oliveira et al. (2020), encontraram valores de IAF na bacia hidrográfica do Alto Ipanema entre 0 e 6, onde a diminuição da cobertura vegetal ao longo dos anos analisados se deve a fatores antrópicos e às mudanças climáticas que influenciam diretamente na precipitação.

Os resultados encontrados neste estudo se somam a diversas outras pesquisas que sugerem que ambientes onde há melhores condições climáticas, o IAF é maior (LI; GUO, 2010; CHEN; WILLGOSE; SACO, 2015; WU; LIANG, 2020), o que ameniza os efeitos da evapotranspiração e contribui para o armazenamento de água no solo.

Portanto, analisar o IAF em bacias hidrográficas mostra como a região semiárida é dinâmica e adaptativa, ora expandindo seu dossel foliar quando há disponibilidade hídrica, ora liberando de suas folhas para se manter viva durante o período seco. Este estudo é muito relevante para a compreensão da dinâmica vegetativa em um ambiente semiárido, uma vez que, identifica o comportamento do IAF, podendo contribuir para a gestão e a tomada de decisão, tendo em vista, que a região de estudo é beneficiada pelo PISF.

5.3.1 Uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova

A classificar os usos da bacia de Terra Nova, foi possível identificar 10 usos, sendo eles: formação florestal, formação savânica, formação campestre, pastagem, mosaico de usos, áreas urbanizadas, áreas não vegetadas, corpos hídricos, lavouras temporárias e perenes. Para o período analisado que compreende os anos de 2013 a 2021, percebe-se que a área de estudo apresenta variações quanto ao seu uso. Não foi possível analisar o ano de 2022, pois os dados ainda não estão disponíveis na plataforma do MapBiomias.

As formações florestais aumentaram entre os anos analisados passando de 6,78 Km² em 2013 para 24,1 Km² em 2021. Este aumento se deve principalmente a dinâmica da precipitação que teve volumes crescentes dentre os anos analisados, passando de 336, 2 mm em 2013 para 519, 2 mm em 2021. Santos et al. (2021), encontraram valores semelhantes em um estudo realizado na bacia hidrográfica do açude Cachoeira 2.

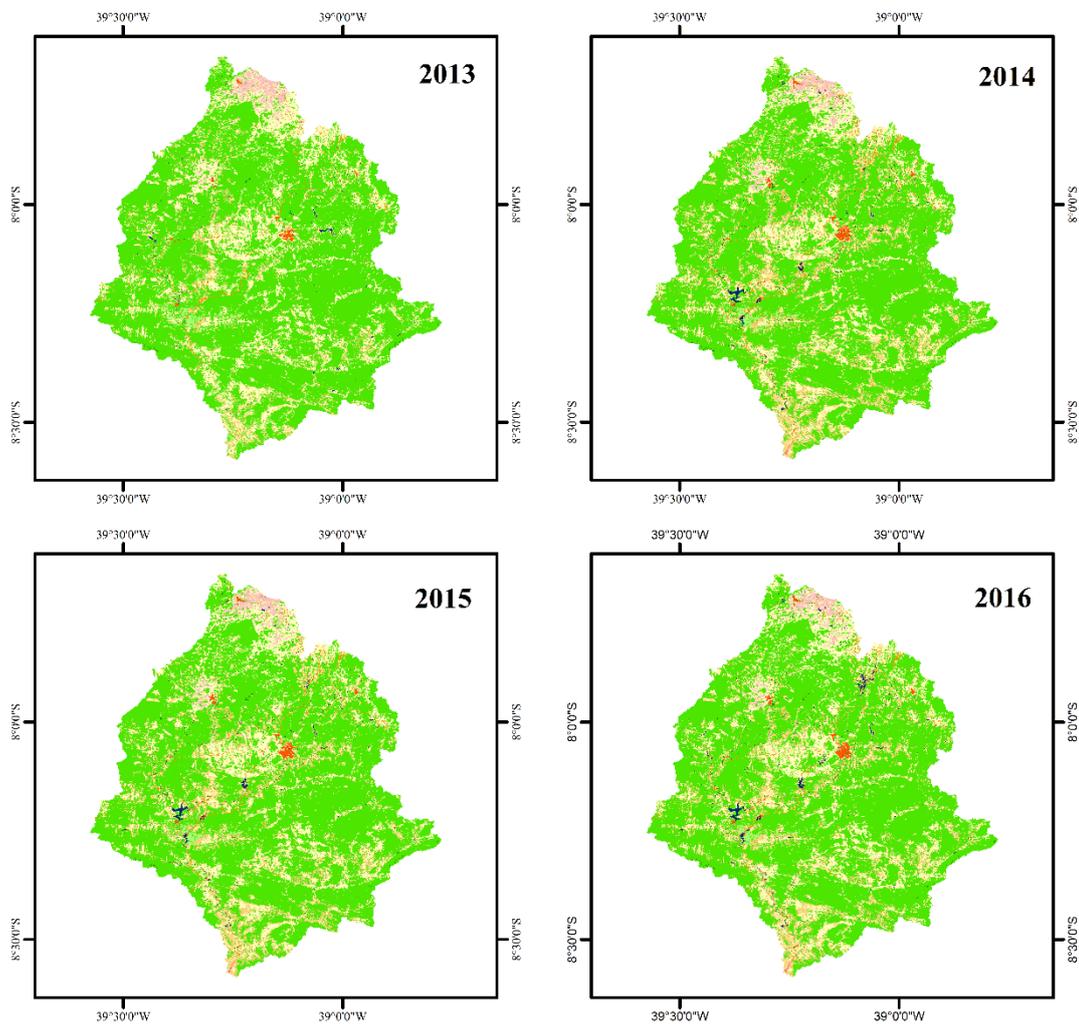
As áreas de formação savânica apresentaram uma leve redução, passando de 3,341 Km² em 2013 para 3303 Km² em 2021. Já o uso referente a formação campestre diminuiu drasticamente entre a série de estudos analisada, passando de 146,3 Km² em 2013 para 49,71 Km² em 2021. Lucena (2021), em um estudo realizado em um município do semiárido, constatou que as áreas de formação savânica e campestre são as que mais sofrem degradação.

As áreas de pastagem diminuíram drasticamente, em 2013 o valor passou de 802,4 Km² para 547,1 Km² em 2021, em contrapartida, o uso correspondente a mosaico de uso praticamente dobrou de área, em 2013 correspondia a 439,9 Km² e em 2021 o valor foi de 818,2 Km², pode-se entender a partir disso, que as atividades agrícolas aumentaram na área de estudo. O crescimento de áreas para uso agrícola também foi encontrado em um estudo realizado por Nascimento e Santos (2019), os autores constataram que este uso se desenvolve próximo a corpos hídricos.

Com relação a área urbanizada, houve um aumento, em 2013 era de 10,5 Km² e para 17,5 Km² em 2021. Já as outras áreas não vegetadas tiveram redução, passando de 72,5 Km² em 2013 para 57,1 Km².

A área de estudo está completamente inserida no semiárido, então, há limitações com relação a disponibilidade hídrica. A área de uso correspondente a rio, lago e oceano era de 5,04 Km² em 2013 passando para 18,01 Km² em 2021.

Figura 7. Uso e ocupação do solo da bacia do rio Terra Nova (2013-2016).

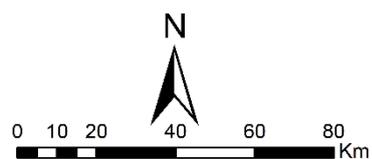


Usos do Solo Bacia Terra Nova - PE

Legenda

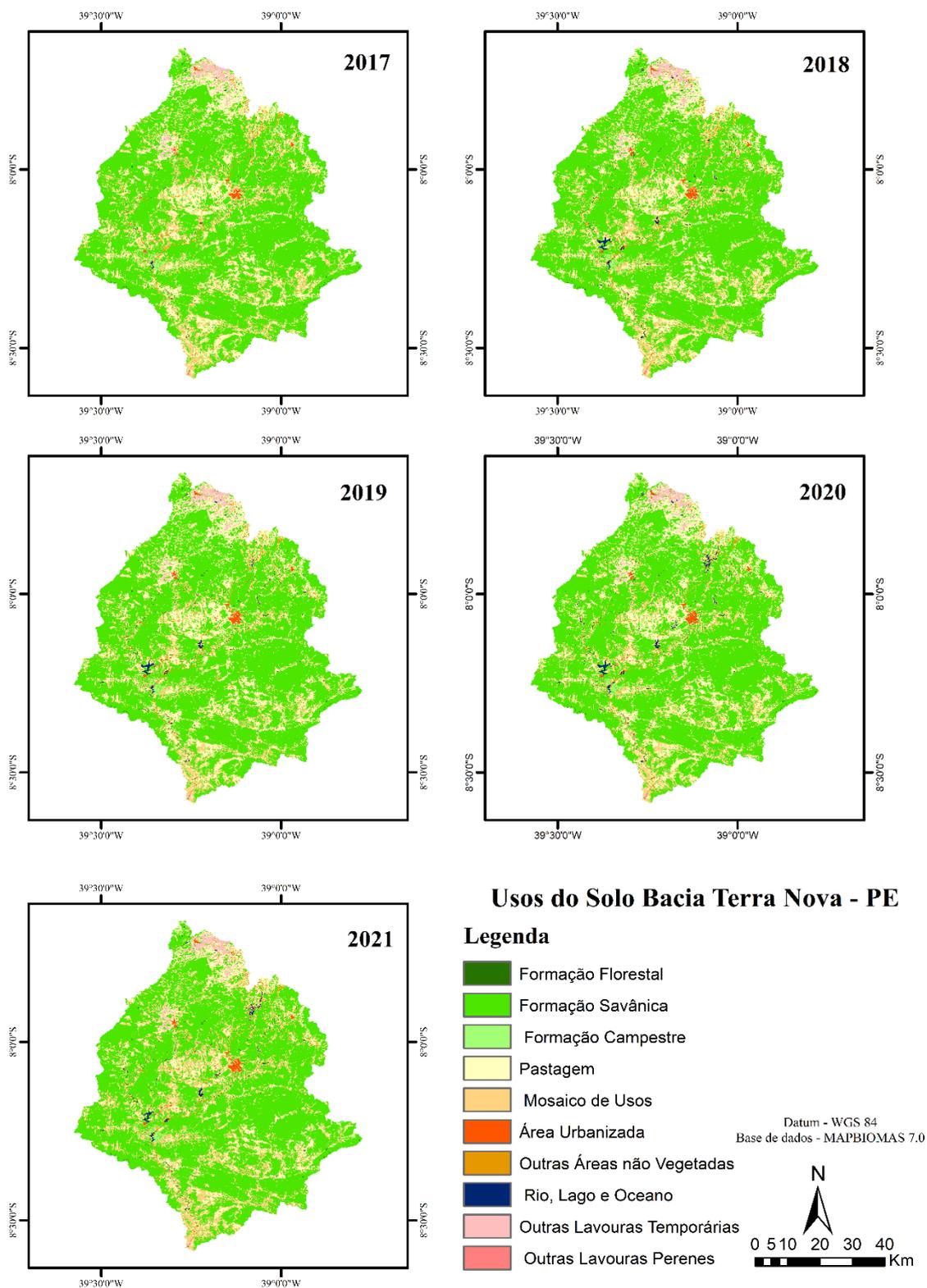
- Formação Florestal
- Formação Savânica
- Formação Campestre
- Pastagem
- Mosaico de Usos
- Área Urbanizada
- Outras Áreas não Vegetadas
- Rio, Lago e Oceano
- Outras Lavouras Temporárias
- Outras Lavouras Perenes

Datum - WGS 84
Base de dados - MAPBIOMAS 7.0



Fonte: A autora (2023).

Figura 8. Uso e ocupação do solo da bacia do rio Terra Nova (2017-2021).



Fonte: A autora (2023).

Ao analisar os corpos hídricos presentes nas Figuras 7 e 8, nota-se que em 2013 havia poucas áreas com este uso na bacia de Terra Nova, o reservatório Nilo Coelho que é objeto de investigação deste estudo não aparece no referido ano. No entanto, nos anos seguintes, exceto em 2017, a água se faz presente. A área de estudo foi beneficiada pelo PISF, então, é possível afirmar que este projeto teve e tem um impacto positivo com relação a disponibilidade hídrica da bacia.

As áreas referentes a outras lavouras temporárias era de 62,7 Km² em 2013, apresentando um aumento para 66, 5 Km² em 2021. Já outras lavouras perenes tiveram um aumento de 1,10 Km² em 2013 para 7,22 Km². Os valores das áreas de uso e ocupação do solo da bacia de Terra Nova se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação do uso e ocupação do solo da bacia do rio Terra Nova (2013-2021).

Classificação do uso e ocupação do solo																				
Ano	Formação Florestal		Formação Savânica		Formação Campestre		Pastagem		Mosaico de usos		Área urbanizada		Outras áreas não vegetadas		Rio, lago e oceano		Outras lavouras temporárias		Outras lavouras perenes	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
2013	6,78	0,13	3341	68,0	146,3	2,98	822,4	16,7	439,9	8,96	10,5	0,21	72,5	1,47	5,04	0,10	62,7	1,27	1,10	0,02
2014	8,79	0,17	3303	67,3	120,5	2,45	801,3	16,3	510,9	10,4	11,01	0,22	81,7	1,66	5,46	0,11	63,9	1,30	1,21	0,02
2015	10,2	0,20	3254	66,3	114,9	2,34	784,7	15,9	575,5	11,7	11,46	0,23	87,1	1,77	3,26	0,06	65,4	1,33	1,47	0,02
2016	13,4	0,27	3242	66,0	82,9	1,69	795,7	16,2	610,4	12,4	12,2	0,25	80,8	1,64	4,67	0,09	64,4	1,31	1,61	0,03
2017	14,3	0,29	3239	65,9	65,2	1,32	806,6	16,4	632,1	12,8	12,9	0,26	64,1	1,30	4,48	0,09	67,4	1,37	1,90	0,03
2018	22,8	0,46	3290	67,0	49,8	1,01	756,6	15,4	629,1	12,8	15,5	0,31	59,1	1,20	16,5	0,33	66,2	1,34	2,56	0,05
2019	23,5	0,47	3304	67,3	48,6	0,99	809,1	16,4	564,0	11,4	16,4	0,33	57,8	1,17	16,6	0,33	64,0	1,30	4,49	0,09
2020	24,8	0,50	3304	67,3	47,8	0,97	821,1	16,7	540,3	11,0	16,5	0,33	56,6	1,15	24,9	0,50	64,8	1,32	7,12	0,14
2021	24,1	0,49	3303	67,2	49,7	1,01	547,1	11,1	818,2	16,6	17,5	0,35	57,1	1,16	18,0	0,36	66,5	1,35	7,22	0,14
Total	~ 4909 Km²																			

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6 CAPÍTULO II – ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO NILO COELHO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE UNIDADE DE RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA PERNAMBUCO

6.1 INTRODUÇÃO

O Índice de Área Foliar (IAF) é uma variável biofísica e seus valores são estimados de acordo com a produtividade da comunidade vegetal no qual está inserido (PAIVA, et al., 2009). O IAF também está associado a processos agrônômicos, biológicos e ambientais e é responsável pelo crescimento, fotossíntese transpiração, interceptação de radiação e o equilíbrio energético (ASNER et al., 2003; ZHANG et al., 2005).

Analisar o IAF em reservatórios permite identificar a dinâmica das comunidades vegetais e como as variáveis climáticas e o uso e ocupação do solo afetam este ambiente, colaborando no monitoramento e na conservação dos recursos hídricos. Alguns autores têm realizado estudos neste reservatório, como, Silveira et al. (2022) que analisou o uso e a ocupação do entorno do reservatório Nilo Coelho, encontrando os seguintes usos: caatinga, agricultura, pastagem, área urbana e solo exposto. Identificaram, ainda, a redução da disponibilidade hídrica, passando de 4,74 km² para 2,16 km². Mudanças na disponibilidade hídrica são recorrentes nesse reservatório, no mês de março de 2013, a sua capacidade hídrica chegou a 0% e permaneceu com 7% de sua capacidade até o final de 2016 (ANA, 2022).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução nº 302, de 20 de março de 2002, que dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente (APP) de reservatórios artificiais e o uso de entorno, destaca, em seu Art. 2º, inciso V, que a área urbana consolidada precisa atender a alguns equipamentos de infraestrutura urbana, dentre eles uma rede de esgoto e recolhimento de resíduos sólidos urbanos (CONAMA, 2002).

Bezerra et al. (2019), analisaram a cobertura vegetal e o uso e ocupação do entorno dos reservatórios visando monitorar a vegetação, os recursos hídricos, a geologia, os ambientes construídos e demais feições. Algumas destas mudanças se devem às atividades antrópicas, provocando alterações na cobertura vegetal nativa (LEONARDO et al., 2019).

Estudos que analisam o IAF em ambientes aquáticos não são abundantes na comunidade científica, mas são de extrema relevância, pois permitem a identificação da dinâmica vegetativa e quando atrelado ao uso das geotecnologias podem ajudar a identificar alterações nas características físicas dos corpos hídricos.

Apesar do reservatório Nilo Coelho não fazer parte do PISF, ele é um dos mais importantes da bacia de Terra Nova. Portanto, pesquisas que analisam a dinâmica hidroclimática e os índices biofísicos em corpos hídricos são essenciais, pois ajudam a identificar fragilidades ambientais e contribuem para o fortalecimento de políticas públicas e tomadas de decisão.

7 REFERENCIAL TEÓRICO

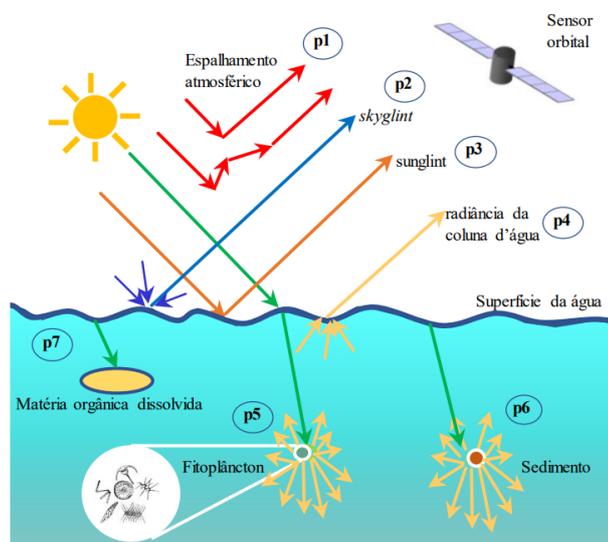
7.1 SENSORIAMENTO REMOTO EM AMBIENTES AQUÁTICOS

A utilização do SR em ambientes aquáticos tem como principal objetivo a definição dos parâmetros de qualidade de água. Seu uso é uma solução eficaz, pois tem baixo custo e uma maior rapidez na obtenção dos resultados. Diversos estudos têm sido realizados utilizando imagens de satélites e drones no monitoramento de ambientes aquáticos (WICAKSONO; HAFIZT, 2013; HOSSAIN et al., 2015; MENDONÇA et al., 2015).

O processo de extração de informações em ambientes aquáticos é diferente de ambientes terrestres. Na água, o processo de radiação ocorre com espalhamento múltiplo, já em ambientes terrestres ocorre de forma simples. A interação da água com a luz provoca variações na absorção da radiação solar, onde, uma parte é absorvida e outra refletida. Estas alterações fazem com que haja variações na cor da água em decorrência da concentração e composição das substâncias dissolvidas (BARBOSA; MORAES NOVO; MARTINS, 2019).

Adi, Phinn e Roelfsema (2013), realizaram um estudo que mostrou que é possível utilizar o coeficiente de atenuação difusa em um comprimento de onda de 0,49 μm para estimar o comportamento da luz e a claridade da água. Se há transparência na água há também uma maior disponibilidade de luz, o que favorece os processos químicos, físicos e biológicos. A medida em que a luminosidade vai diminuindo com o aumento da profundidade da água, surgem dois processos: espalhamento e absorção (ZIMMERMAN; DEKKER, 2006; PEERTERS et al., 2009). A radiação entre o ambiente aquático e a luz contém informações sobre a composição da água (Figura 9).

Figura 9. Trajetória da luz entre fonte, alvo e sensor orbital.



Fonte: Barbosa; Moraes Novo; Martins (2019).

A radiação refletida pela água é resultado do processo de interação entre a luz e o ambiente aquático e carrega as informações sobre a composição da massa de água. Já a reflectância é medida de acordo com a radiação emergida da superfície da água que retorna e suas feições espectrais indicam propriedades limnológicas (BARBOSA; MORAES NOVO; MARTINS, 2019; WACHHOLZ, 2011). Segundo Martins (2015), a região do espectro eletromagnético que apresenta maior valor está dentro da faixa do visível, pois é a faixa que absorve totalmente a Radiação Eletromagnética (REM).

Segundo Zou, Yuan e Zhang (2013), os dados de Sensoriamento Remoto permitem a análise das características espectrais da Vegetação Aquática Submersa (SAV), contribuindo assim para a identificação e quantificação de espécies de plantas aquáticas.

7.1.1 Presença de fitoplânctons em reservatórios do semiárido

A segurança hídrica sempre foi um patamar que a região Nordeste quis alcançar, isto porque esta região possui um sistema de chuvas irregulares, onde há pouco acumulado hídrico. Com o objetivo de suprir a escassez hídrica, houve a construção de reservatórios, onde o seu principal uso se dá para o abastecimento humano.

No entanto, devido à grande insolação que esta região está submetida, a água armazenada nestes reservatórios acaba ficando sujeita à alta taxa de evaporação, concentração de nutrientes, a suspensão de materiais e processos biogeoquímicos (MOLISANI et al., 2013; RECA et al., 2015; PAULA FILHO et al., 2015; MARQUES et al., 2017).

A redução do nível da água faz com que haja uma maior concentração de nutrientes e conseqüentemente uma redução na transparência (COSTA; BARBOSA; DANTAS, 2016; JEPPESEN et al., 2015), ocasionando a eutrofização dos corpos d'água (AZEVEDO et al., 2015). Este processo também está ligado ao manejo inadequado das atividades agrícola, pecuária, a piscicultura e ao esgoto doméstico e industrial (SANTOS et al., 2014; BEZERRA et al., 2014; KUMAR et al., 2015; WANG et al., 2015).

A comunidade fitoplanctônica é composta por um grupo heterogêneo de algas, sendo responsável pela absorção da luz e pelo processo de transformação em energia química, desempenhando um papel importante nos ecossistemas aquáticos do semiárido pernambucano. No entanto, a ocorrência destas florações algais é predominada por cianobactérias e isto se deve a poluição dos corpos hídricos (O'NEIL et al., 2012; PICCIN-SANTOS; BITTENCOURT-OLIVEIRA, 2012).

Analisar a qualidade da água nos reservatórios é de extrema importância, pois auxilia na gestão e na tomada de decisão. Nessa perspectiva, o uso de ferramentas tecnológicas como o ADIVA se torna essencial, pois além de mapear o uso e ocupação do solo das áreas que circundam os corpos hídricos, pode porventura na implementação de políticas públicas que mitiguem o manejo inadequado e possíveis irregularidades.

7.2 VEÍCULOS AÉREOS NÃO-TRIPULADOS (VANTs)

Segundo Puscov (2002), a história dos Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs), popularmente conhecido como drones teve início em 1883 quando Douglas Archibal instalou um anemômetro em uma pipa com o objetivo de medir a velocidade dos ventos. Desde então, os drones vem se modernizando e a cada ano que passa surgem modelos mais modernos e eficazes, contribuindo ainda mais no monitoramento ambiental.

No Brasil, os drones começaram a ser utilizados na década de 80 por meio do Projeto Acauã do Centro Técnico Aeroespacial (CTA) (MEDEIROS, 2007), inicialmente seu uso era para fins militares (OLIVEIRA et al., 2020). Desde então, a aplicação desta ferramenta tem crescido cada vez mais, principalmente no monitoramento ambiental e agrícola (SAMPAIO et al., 2020, GOMES et al., 2021), isto se deve a três fatores principais: o primeiro é que para executar os voos não há necessidade de um piloto a bordo (ANAC, 2017), o segundo se dá por meio da velocidade de obtenção das imagens e de seu baixo custo (BRÚSSOLO; PEZZOPANE; VECCHIA., 2018) e o terceiro devido a qualidade e detalhamento da área imageada.

As agências reguladoras para o uso de drones no Brasil são a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Os drones se dividem em dois tipos, sendo eles: Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), onde o voo é controlado remotamente e Aeronave Autônoma (AA), que realiza o imageamento de forma programada.

O processamento das imagens se dá por meio de *softwares*, onde é possível obter Modelos Digitais de Elevação (MDE), representando as feições do terreno e os objetos que estão sobre ele e os ortomosaicos que é a junção de todas as imagens da área imageada, sendo o produto mais importante do processamento.

No Brasil, destacam-se trabalhos utilizando drones como o de Jorge e Inamasu (2014), que utilizaram esta tecnologia para a agricultura de precisão, onde pôde-se identificar falhas no plantio da cana-de-açúcar, alterações espectrais nas plantas, irrigação nos pivôs agrícolas e áreas cultivadas. Santos et al., (2021) utilizaram os drones para analisar as mudanças estruturais na vegetação da Caatinga e as compararam com outros produtos multiespectrais.

Ressalta-se, a importância da utilização dos drones para o mapeamento da superfície terrestre, contribuindo para o monitoramento agrícola e ambiental. Sua alta resolução espacial permite a diferenciação dos elementos que compõe a superfície terrestre, podendo identificar a copa de árvores, cobertura vegetal e solo exposto, portanto, o uso desta tecnologia é essencial para a análise da superfície terrestre.

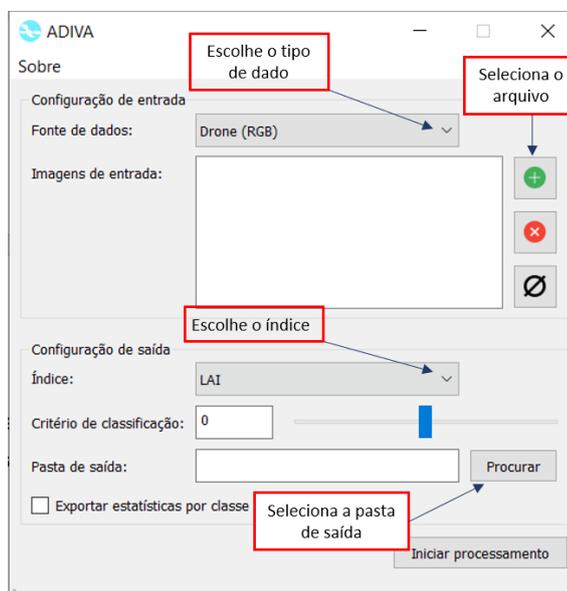
7.3 ANÁLISE DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E ÁGUA (ADIVA)

O aplicativo Análise de Índices de Vegetação e Água (ADIVA), foi desenvolvido por meio de parcerias entre a UFPE, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), seu lançamento aconteceu no dia 25/03/2022 (<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/254341>).

O Adiva é capaz de estimar áreas plantadas e irrigadas, potencial de produção, monitoramento de safras e de seca, nutrientes, manejo de irrigação, pragas e doenças e o monitoramento de reservatórios. Por meio do seu uso é possível obter resultados rápidos de índices de vegetação, água e solo, como o IAF, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI) e *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (GALVÍNCIO et al., 2022).

Este *software* é bem didático e simples de utilizar, sua interface é autoexplicativa, como podemos ver na Figura 10.

Figura 10. Passo a passo de como utilizar o ADIVA.



Fonte: Adaptado de ADIVA, 2023.

Então, basicamente deve-se seguir os seguintes passos:

1. Escolher o dado, o Adiva aceita os seguintes tipos: imagens de drone, imagens do Landsat 8 e 9 e imagens do CBERS 4;

2. Depois seleciona-se o arquivo a ser processado;
3. O terceiro passo diz respeito á escolha do índice a ser analisado, o Adiva faz análise de quatro índices biofísicos, são eles: NDVI, NDWI, SAVI e IAF;
4. Em seguida, escolhe-se a pasta de destino onde o processamento da imagem ficara salvo;
5. Finalmente, inicia-se o processamento da imagem.

Esta ferramenta é uma revolução no que tange ao processamento de imagem, pois além do seu manuseio ser simples, obtêm-se o resultado em pouco tempo. Diferente dos outros *softwares*, no Adiva não há necessidade de calcular manualmente a radiância e a reflectância, pois a própria ferramenta realiza estes cálculos automaticamente.

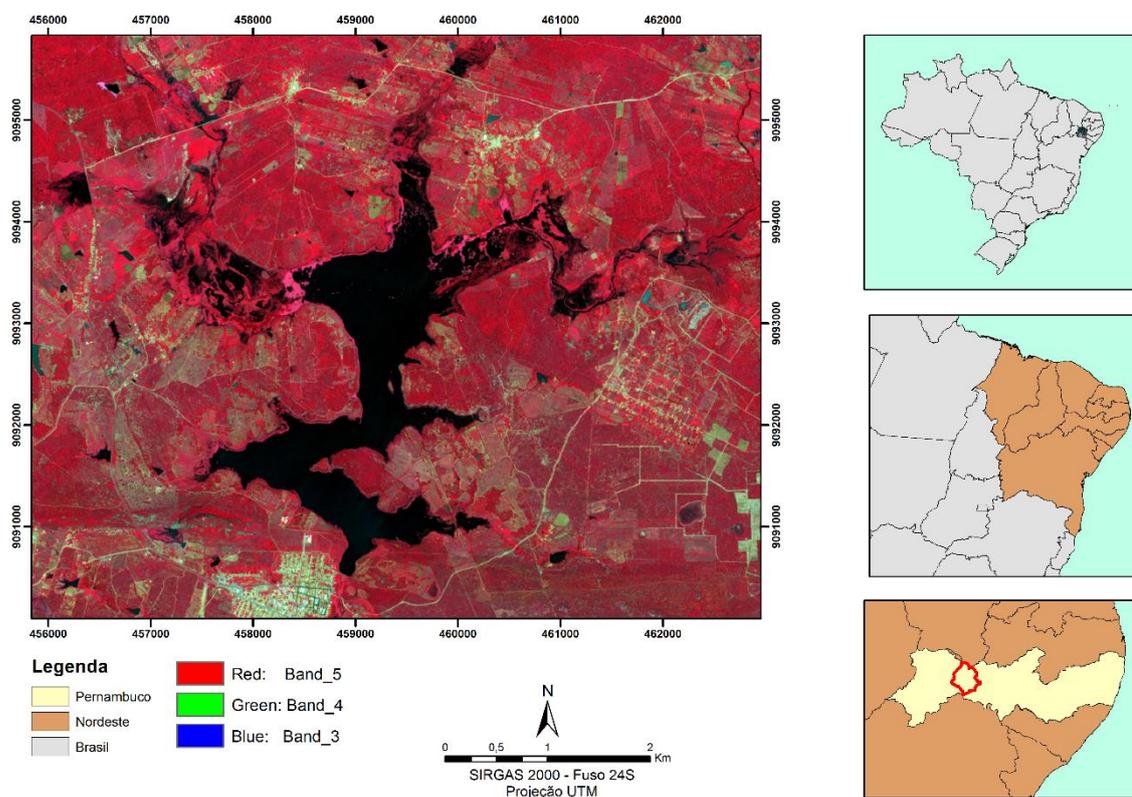
No entanto, por ser uma ferramenta recente, sua utilização na comunidade científica ainda é incipiente, portanto, pesquisas utilizando esta ferramenta contribuirão na análise de índices biofísicos e auxiliarão nos estudos ambientais.

8 MATERIAL E MÉTODOS

8.1 CARACTERIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO NILO COELHO

O reservatório Nilo Coelho foi construído em 1928 e possui uma capacidade hídrica de $22.710.913 \text{ m}^3$ com uma altura de aproximadamente 13 metros. Sua localização é estratégica e abastece os municípios de Terra Nova e Cabrobó. O uso de sua água se dá principalmente no abastecimento humano e irrigação de pequenas propriedades agrícolas (NETO et al., 2021; IDE; ANDRADE, 2017).

Figura 11. Mapa de localização do reservatório Nilo Coelho, Pernambuco, Brasil.



Fonte: A autora (2022).

Este reservatório é um dos mais antigos da bacia de Terra Nova, abastecendo a população há mais de cem anos, devido este fato ele foi escolhido como objeto de estudo desta pesquisa.

8.2 DADOS UTILIZADOS

8.2.1 Satélite ALOS PALSAR para obtenção de Modelo Digital de Elevação (MDE)

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são uma representação matemática da topografia, fornecendo uma representação tridimensional da superfície terrestre (ZHILIN; ZHU; GOLD, 2004; CHAGAS et al., 2010). Nesse sentido, as geotecnologias surgem como uma possibilidade de contribuir na tomada de decisão da área analisada. A obtenção das informações se dá por meio de sensores acoplados em satélites e seu processamento se dá por meio do uso do SR (SILVA; MIRANDA; CANDEIAS, 2022).

O MDE é utilizado para a análise do relevo, corpos hídricos, planejamento urbano, mudanças climáticas (Iorio et al., 2012; Faithy et al., 2019; Fu et al., 2018; Vannier et al., 2018). A partir da obtenção dele é possível realizar estudos ambientais e contribuir para a aplicação e implementação de políticas públicas.

A obtenção do MDE para o reservatório Nilo Coelho se deu por meio das imagens do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), radar do sensor PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*). As imagens são disponibilizadas de forma gratuita por meio do banco de dados do *Alaska Satellite Facility* (ASF/NASA) (<https://search.asf.alaska.edu/#/>) e possuem padrões elevados de resolução, conforme mostra a Tabela 4.

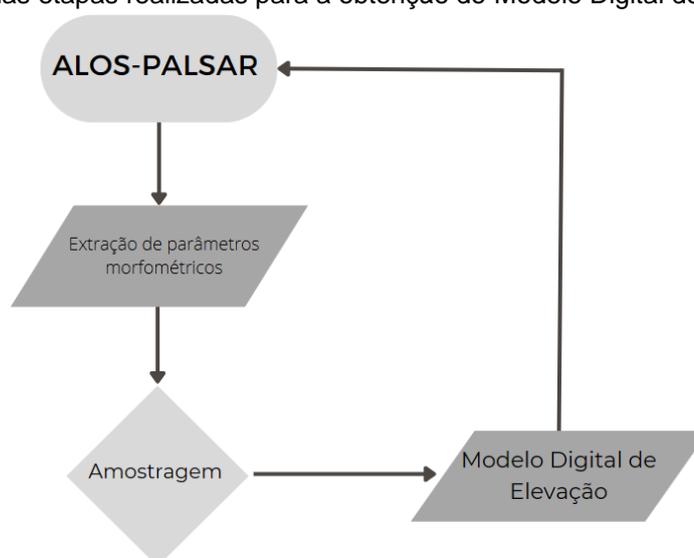
Tabela 4. Características do satélite ALOS PALSAR.

Sensor	Canais/Bandas Espectrais	Ângulo de Visada	Polarização	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Área Imageada
PALSAR	Fine - single	8° - 60°	HH ou VV	7 - 44 m	5 bits	40 - 70 km
	Fine - dual		HH+HV ou VV+VH	7 - 44 m		
	ScanSAR	18° - 43°	HH ou VV	100 m		250 - 350 km
	Polarimetric	8° - 30°	HH+HV+VH+VV	24 - 89 m	3 a 5 bits	20 - 65 km

Fonte: Adaptado de Embrapa (2023).

A escolha do MDE para analisar o reservatório Nilo Coelho se deu em decorrência do questionamento sobre a possibilidade de correlação entre a profundidade do reservatório e a presença de fitoplâncton. O MDE do ALOS PALSAR foi escolhido pela gratuidade e qualidade de suas imagens. Os procedimentos para a obtenção do Modelo Digital de Elevação se apresentam na (Figura 12).

Figura 12. Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

8.2.2 Cálculo de Reflectância

O cálculo da reflectância se dá através do ângulo zenital solar (Z) e o quadrado da razão da distância Terra-Sol. A reflectância do sensor OLI (Equação 5) foi calculada de acordo com a equação proposta por Chander e Markham (2003):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{(Add_{refb} + Mult_{refb} \cdot ND_b)}{\cos Z \cdot d_r} \quad (5)$$

Onde, Add_{refb} e $Mult_{refb}$ representam o valor aditivo e multiplicativo da reflectância para cada banda do arquivo MTL, ND_b representa dos números digitais da imagem, o $\cos Z$ representa o ângulo cosseno zenital solar (Equação 6) e o d_r representa a correção da excentricidade da órbita terrestre (Equação 7) (SILVA et al., 2016).

$$\cos Z = \cos (90 - Z) \quad (6)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{TS}}\right)^2 \quad (7)$$

Onde, d_{TS} é a distância Terra-Sol da imagem no arquivo MTL.

8.2.3 IAF Surface Energy Balance for Land – SEBAL

O IAF do SEBAL tem como base o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e é calculado aplicando a seguinte equação proposta por ALLEN et al., (2002).

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69-SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

8.2.4 IAF Almeida

O IAF de Almeida et al. 2019, tem como base o Índice de Vegetação Melhorado (EVI) e é calculado usando a seguinte equação:

$$LAI = 9.555 \times EVI - 1.324 \quad (9)$$

8.2.5 IAF Machado

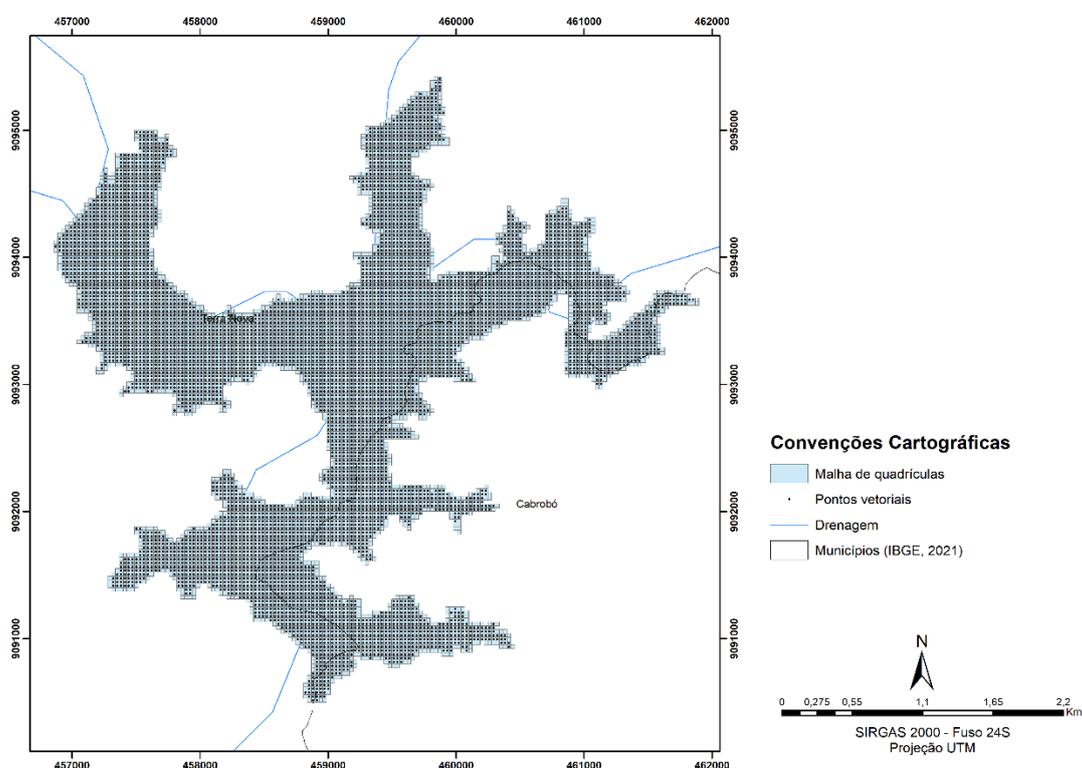
O IAF de Machado et al. 2014, tem como base o NDVI e é calculado aplicando a seguinte equação:

$$LAI = 0.102 \times e^{5.341 \times NDVI} \quad (10)$$

8.2.6 Malha de quadrículas e pontos vetoriais do IAF do reservatório Nilo Coelho

Para obter os valores do Índice de Área Foliar de cada pixel do reservatório Nilo Coelho, foi necessário construir malhas com quadrículas de 30 metros. Após este procedimento foi possível obter o valor de cada ponto de IAF dentro de cada quadrícula do reservatório.

Figura 13. Malha de quadrículas e pontos vetoriais do reservatório Nilo Coelho.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

8.3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE DRONE

Para realizar o imageamento foi necessário fazer o plano de voo, que é realizado por meio do aplicativo *PIX 4D Capture*, onde é possível escolher a área que será imageada, altitude do voo e a configuração da sobreposição de imagens. Para o imageamento do reservatório Nilo Coelho foi escolhida uma sobreposição de 90% devido a área ser um corpo hídrico, este procedimento foi feito com o objetivo de diminuir falhas na imagem.

O levantamento aéreo foi utilizado o drone *Mavic 2 Enterprise Dual*. Este drone teve seu lançamento em 2018 pela DJI, possui câmeras visuais duplas e termal, suas câmeras são: Câmera Termográfica M2ED com resolução de sensor de 160x120 e dimensões de imagem entre 640x480 (4:3) e 640x360 (16:9), Câmera Visual M2ED com sensor de pixel efetivo de 12 megapixels e dimensões de imagem 4056x3040 (4:3) e 4056x2280 (16:9) e Câmera M2E pixel efetivo de 12 megapixels e dimensão de imagem de 4000x3000.

Figura 14. Drone Mavic 2 Enterprise Dual utilizado para o imageamento.



Fonte: Acervo da autora (2021).

O voo no reservatório Nilo Coelho foi realizado no mês de agosto, período seco da área (Tabela 5).

Tabela 5. Características do plano de voo.

Data	Coordenadas	Hora do voo	Duração
09/08/2022	8° 22'47" de latitude sul e 39° 37'44" de longitude oeste	13:46	19min e 58seg

Fonte: Adaptado de Pix 4D Capture (2023).

As imagens foram processadas no *software Agisoft PhotoScan*, por meio dele é possível obter triangulação aérea e terrestre, exportar dados para outros *softwares* fotogramétricos, geração de nuvens de ponto, modelos poligonais triangulares 3D, Modelo Digital de Terreno (MDT), MDE, ortofotos e imagens multiespectrais, a sobreposição deve estar entre 80 e 60% (PHOTOSCAN, 2014).

8.3.1 IAF de drone com Adiva

O Adiva realiza calibrações radiométricas e cálculos de reflectância automáticos, o IAF é calculado com base na equação proposta por MIRANDA et al. 2020 (Eq.11). Para obter o IAF do entorno do reservatório Nilo Coelho, foi selecionado o ortomosaico que é composto de três camadas na faixa do visível, sendo elas: *RED* (R), *GREEN* (G) e *BLUE* (B), então, foi realizada a configuração de entrada e saída da imagem e o critério de classificação escolhido foi 0.2 para a área de estudo.

$$LAI = 4,9 \times (NDVI^2) + 0,1 \quad (11)$$

8.3.1.1 Calibração Radiométrica do Adiva

A calibração radiométrica é realizada por meio das equações de MARKHAM & BAKER (1987).

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN}{Q_{max} - Q_{min}} \right) \times (Q - Q_{min}) + LMIN_{\lambda} \quad (12)$$

Onde, L_{λ} corresponde à radiância espectral aparente, $LMAX_{\lambda}$ é a radiância espectral máxima, $LMIN$ é a radiância espectral mínima, λ é o comprimento de onda, Q é o número digital, Q_{min} é o número digital mínimo e Q_{max} é o número digital máximo (Eq.13).

$$L_{\lambda i} = \frac{b_i - a_i}{255} \times ND \quad (13)$$

Onde, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$, i corresponde às bandas 2 a 7 do Landsat 8 – OLI e ND é o número digital do pixel (número inteiro de 0 a 255) (Eq.14).

$$L_{\lambda i} = G_{rescale} \times ND + B_{rescale} \quad (14)$$

Onde, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $G_{rescale}$ é o sensor de ganho específico da banda, ND é o número digital do pixel (número inteiro de 0 a 255) e $B_{rescale}$ é o sensor do viés específico da banda (Eq.14).

8.3.1.2 Cálculo de Reflectância no Adiva

A reflectância é calculada de acordo com as equações de ALLEN et al. (2002) (Eq.11); BASTIAANSEN et al. (1998) (Eq.12) e SILVA et al. (2005) (Eq.15).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \times L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \times \cos Z \times d_r} \quad (15)$$

Onde, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2}.hm^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar, d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em determinado dia do ano (DAS) (Eq.16).

$$\cos(Z) = \cos(90 - E) \quad (16)$$

Onde, $\cos(Z)$ corresponde a um ângulo expresso em graus ou radianos, e (E) é um ângulo que está relacionado ao $\cos(Z)$ expresso em graus e radianos (Eq.17).

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{DSA \times 2\pi}{365}\right) \quad (17)$$

Onde, d_r corresponde à distância Terra-Sol, 1 e o termo base da distância, 0,033 é um coeficiente que quantifica a variação na distância da Terra ao Sol devido à excentricidade da órbita da Terra, $\cos\left(\frac{DSA \times 2\pi}{365}\right)$ representa os dias do ano, indicando a posição ao longo da órbita da Terra (Eq.17).

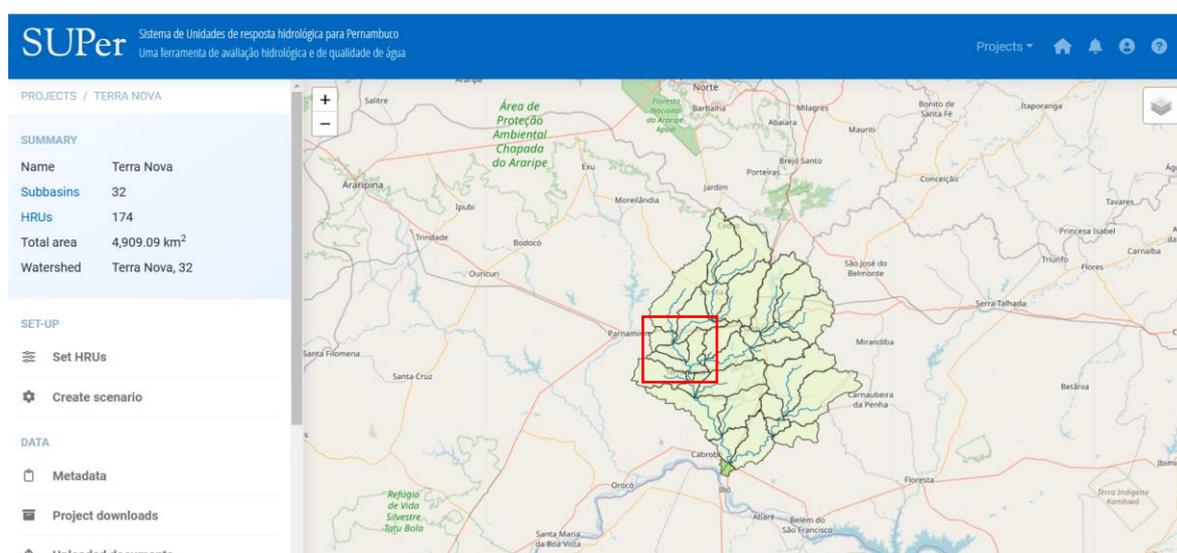
8.4 IAF DO RESERVATÓRIO NILO COELHO NO SUPER

O Sistema de Unidade de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER) é um sistema de modelagem de bacias hidrográficas para o estado de Pernambuco. A

bacia de Terra Nova se subdivide em 32 sub-bacias no SUPer e o reservatório Nilo Coelho corresponde à sub-bacia 18 (Figura 15). Foram selecionados o IAF dos anos de 2013 a 2022 e, escolhidos os meses e as datas correspondentes à cada imagem do Landsat 8 – OLI, objetivando uma validação do SUPer com os demais IAF desse estudo.

Esta validação foi obtida por meio do coeficiente de determinação (R^2) para os resultados do IAF do entorno do reservatório Nilo Coelho.

Figura 15. Bacia hidrográfica do rio Terra Nova no SUPer, destacando a sub-bacia Nilo Coelho, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Adaptado de SUPer (2023).

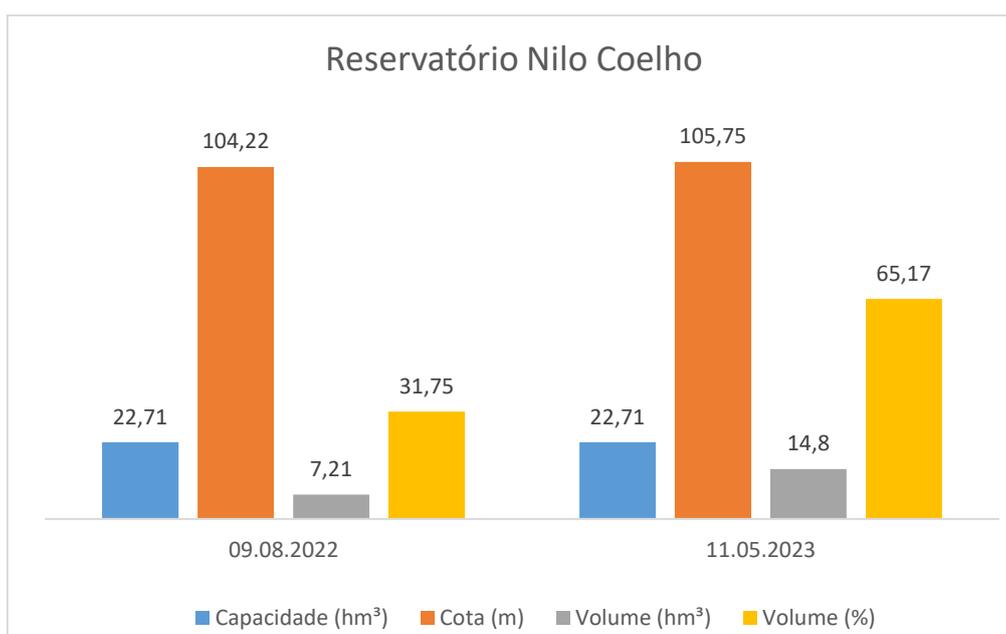
9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1 CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DO RESERVATÓRIO NILO COELHO

A ANA é o principal órgão de acesso aos dados dos reservatórios nacionais. A base de dados pode ser acessada por meio do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) (<https://www.ana.gov.br/sar/>).

As características hídricas do reservatório correspondem ao dia do imageamento que foi realizado no dia 09 de agosto de 2022, período seco da área de estudo. Já a segunda data foi escolhida por apresentar valores mais recentes. As características hídricas estão representadas na (Figura 16).

Figura 16. Características hídricas do reservatório Nilo Coelho.



Fonte: Adaptado de SAR (2023).

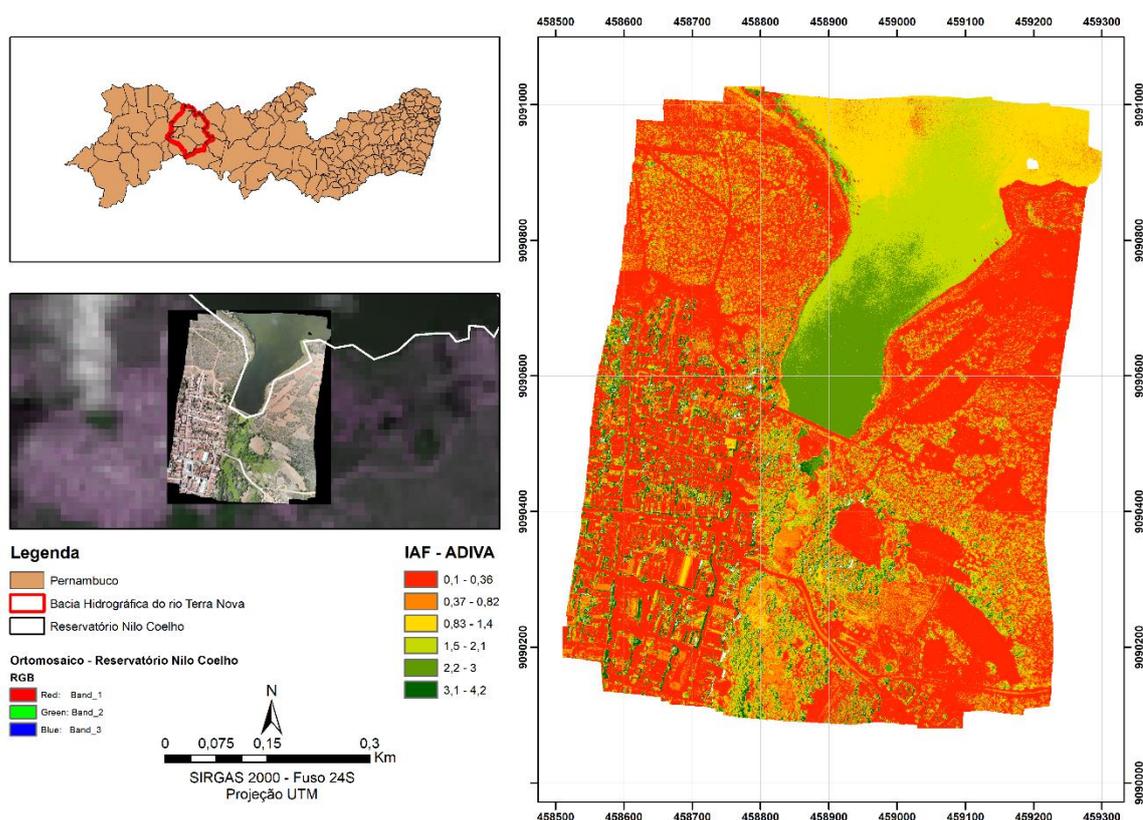
A capacidade hídrica do reservatório é de 22,71 hm³. É possível perceber que as demais variáveis apresentaram valores diferentes entre as duas datas. No dia 09.08.2022, a cota do reservatório correspondia a 104,22 m, já no dia 11.05.2023, a cota hídrica teve um leve aumento passando para 105,75 m.

O volume apresentou um aumento entre as duas datas, passando de 7,21 hm³ para 14,8 hm³, apresentando um armazenado hídrico de 65,17%.

9.2 IAF NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO NILO COELHO UTILIZANDO O ADIVA

Para analisar o IAF no entorno do reservatório Nilo Coelho foi utilizado o ortomosaico obtido por meio da junção das 135 imagens obtidas pelo drone, para o imageamento do entorno do reservatório. Nota-se a cor verde escura próxima ao barramento do reservatório. Em toda a área do voo é possível perceber pequenas áreas verdes em destaque, indicando presença de vegetação aquática. É possível identificar na imagem a presença da cor vermelha, destacando áreas de solo exposto e urbanização (Figura 17).

Figura 17. Índice de Área Foliar do entorno do reservatório Nilo Coelho.



Fonte: A autora (2022).

A classificação da área analisada foi subdividida em 6 classes com o objetivo de diferenciar a classificação de cores. Na Figura 17, é possível observar áreas de solo exposto, caatinga arbustiva, agricultura, área urbana, água e atividade

fitoplanctônica. Os valores de IAF variaram entre 0,1 e 4,2, onde os menores valores são representados pela cor mais quente, indicando áreas de solo exposto e urbanização, os maiores valores são representados pelas cores mais frias, porém sua maior concentração ocorre em áreas com água.

Almeida, Carvalho e Araújo (2019), observaram valores de IAF para a Caatinga, com valores médios entre 2,21 e 4,26. Huang et al. (2014) avaliaram o IAF anual do semiárido do Texas e encontraram valores entre 0,5 e 2. Ishihara e Hiura (2011) encontraram valores de IAF para uma floresta temperada decídua, variando entre 2,51 e 5,51. Os valores de IAF encontrados por Ishihara e Hiura (2011) se aproximam dos valores encontrados na Caatinga, onde áreas que apresentam um clima mais quente tem uma vegetação menos densa do que nas áreas que apresentam vegetação mais densa em climas temperados e úmidos.

O IAF no entorno do reservatório Nilo Coelho, apresentou maiores valores na água e para a investigação destes valores buscou-se, na literatura estudos que pudessem contribuir para a compreensão deste comportamento.

Segundo Esteves (1998), a proliferação de fitoplâncton é mais intensa no verão devido ao aumento da temperatura, descarga de nutrientes pela chuva e baixa velocidade dos ventos. O voo com o drone foi realizado às 13h:46min da tarde no mês de agosto, período seco da área de estudo, portanto, podemos interpretar que os fatores temperatura e horário em que o voo foi realizado podem de alguma forma ter contribuído para o adensamento vegetal da área de estudo.

O fitoplâncton é uma flora de organismos microscópicos, constituídos por microalgas e cianobactérias, que permanecem nas águas mais superficiais, na zona fótica, onde a luz está presente e é utilizada para a fotossíntese. Como a vegetação terrestre, o fitoplâncton utiliza dióxido de carbono e libera oxigênio. Em água doce, um grande número de algas verdes costuma colorir lagoas e lagos e a presença de cianobactérias pode afetar o sabor da água potável.

O fitoplâncton oceânico é a principal fonte de alimento, direta ou indireta, de grande parte dos organismos marinhos. Composto por grupos com esqueletos siliciosos, como diatomáceas, dinoflagelados e coccolitóforos. O fitoplâncton varia sazonalmente em quantidade, aumentando na primavera e no outono com luz, temperatura e minerais favoráveis à fotossíntese (BRITANNICA, 2023).

Todavia, o adensamento vegetal em corpos hídricos necessita de mais investigações, pois só os fatores temperatura e horário não são suficientes para

explicar o alto valor de IAF encontrado no reservatório. Esses estudos são escassos no mundo inteiro, no final do verão de 2019, as águas da bacia de Terra Nova apresentaram presença de fitoplâncton por três semanas, algo extraordinário na época. Um ano depois, o Atlântico Noroeste floresceu persistentemente por dois meses e as razões não são totalmente claras. Traços de fitoplâncton tornaram-se visíveis pela primeira vez à sudeste de St. John's Newfoundland em meados de julho de 2020, e as criaturas microscópicas semelhantes às plantas flutuantes ainda eram visíveis para imagens de satélite em meados de setembro. As imagens foram adquiridas pelos instrumentos Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) nos satélites Terra e Aqua da NASA em 21 de julho, 11 de agosto e 5 de setembro de 2020. Pode-se perceber que as razões da presença de fitoplâncton no reservatório Nilo Coelho ainda necessita de mais investigação.

A proliferação de fitoplâncton e macrófitas aquáticas são indicadores de eutrofização (CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006). Segundo Costa et al. (2009) e Oliveira et al. (2020), os impactos ambientais de ordem antrópica causam alterações em corpos hídricos modificando suas características químicas, físicas e biológicas.

O CONAMA, em sua Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre as classificações dos corpos de água e diretrizes ambientais, classifica as águas para o abastecimento e o consumo humano como classe 2, impondo um limite máximo de adensamento de cianobactérias em até 50 mil células por mililitro de água.

O Plano Básico Ambiental (PBA-22) realizou o monitoramento da qualidade de água e limnologia das bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional. A 25ª e 26ª campanhas na bacia hidrográfica do rio Terra Nova apresentaram concentração acima do permitido pelo CONAMA, identificando as seguintes inconformidades: animais de pastagem, ocupação humana, cultura irrigada, bombas particulares de captação, pesca artesanal, mortandade de peixes, presença de odor, lançamento de esgoto bruto e presença de lixo.

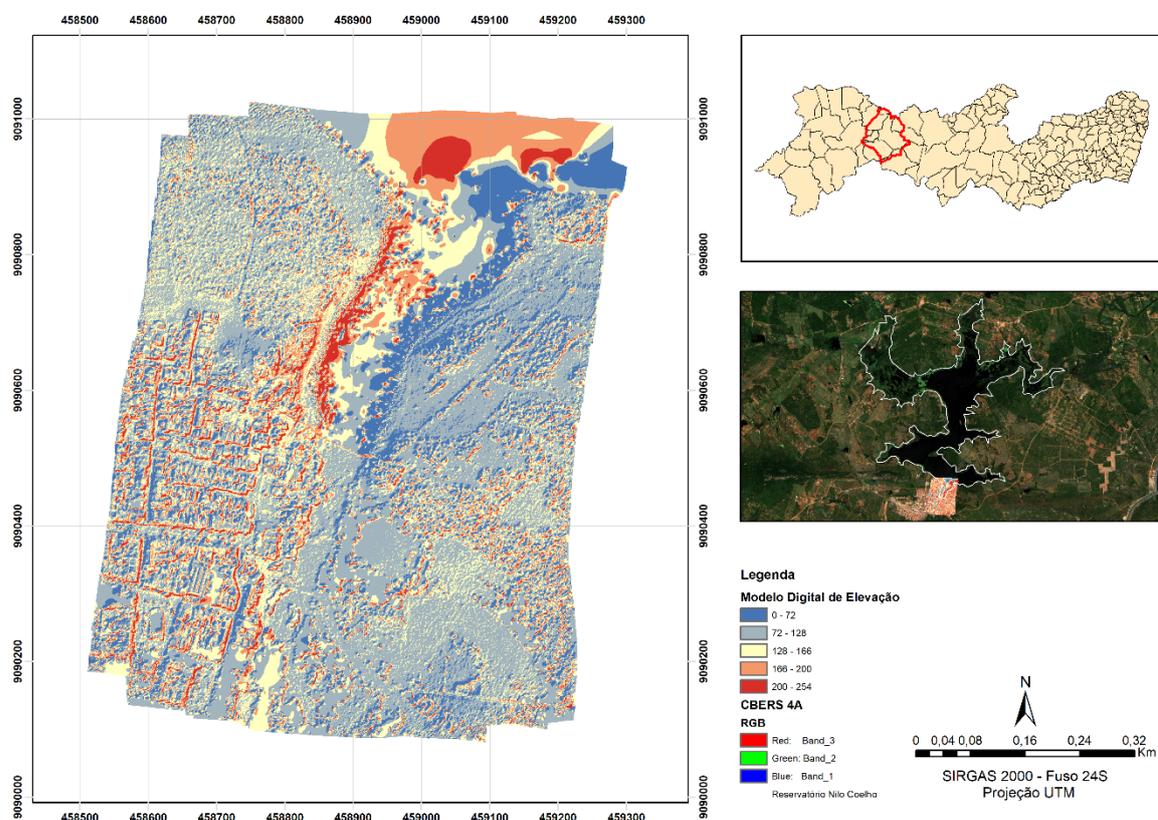
Os resultados encontrados no entorno do reservatório Nilo Coelho estão em conformidade com o PBA-22. Analisar o IAF em reservatórios promove um conhecimento mais detalhado sobre o comportamento da cobertura vegetal, ressalta-se que este índice é totalmente aplicável em corpos hídricos, ajudando a identificar atividades fitoplanctônicas.

Estudos utilizando imagens de drone com o Adiva ainda são limitados na comunidade científica, pois esta é uma ferramenta recente. No entanto, seu uso se mostrou eficiente para a identificação da dinâmica vegetativa em ambientes semiáridos com corpos hídricos.

9.2.1 Modelo Digital de Elevação (MDE) e sua correlação com a presença de fitoplânctons no entorno reservatório Nilo Coelho

O Modelo Digital de Elevação representa a topografia da superfície terrestre. Para o voo de drone no entorno do reservatório Nilo Coelho foi possível identificar altitudes que variam entre 72m e 254m. Ao fazer uma comparação entre os resultados de IAF apresentados na Figura 18 e do MDE, podemos perceber que as áreas do corpo hídrico que apresentam maior concentração de IAF estão em altitudes menos elevadas.

Figura 18. Modelo Digital de Elevação do entorno do reservatório Nilo Coelho.



Fonte: A autora (2023).

Bem, Braga e Azevedo (2013), encontraram resultados semelhantes em um lago urbano raso, onde as concentrações de fitoplâncton ocorreram na coluna d'água que havia menor altitude e maior profundidade, já as áreas que apresentavam uma profundidade menor tiveram a concentração de fitoplâncton reduzida.

Das et al. (2022), analisaram a variação das altitudes do rio Teesta e como isto influencia na concentração de fitoplâncton. A altitude do rio variava entre 111m e 1292m, os resultados revelaram que a maior parte dos grupos algais se concentraram onde a altitude era menor.

Os fatores físico-químicos como, altitude, hidrologia, geologia, clima e interferência antrópica contribuem nas mudanças da qualidade da água (BARTRAM; BALANCE, 1996; ALVES DE OLIVEIRA, 2001; HEINRICH, 2014; SONMEZ, 2018). Os autores, Becker (2014) e Menezes (2018), destacam que as alterações nas características físico-químicas influenciam na diversidade fitoplanctônica e o período do ano que há maior concentração destas algas é o verão, no entanto, é possível encontrar a presença nos demais períodos do ano (KUTLU et al., 2020).

O reservatório Nilo Coelho possui altitudes diferentes ao longo de toda a sua extensão, as áreas com menor altitude apresentam uma maior concentração de fitoplâncton, esta condição trófica também é confirmada por (BORICS et al., 2015). Apesar de possuir uma ampla diversidade sazonal, o fitoplâncton é sensível a localização geográfica e a profundidade de corpos hídricos (DAS et al. 2022).

A proliferação de fitoplâncton também é influenciada pelas variações nos parâmetros de qualidade da água (GOGOI et al., 2020) e sua concentração se dá principalmente nos meses com maior incidência solar (ALENCAR et al., 2019).

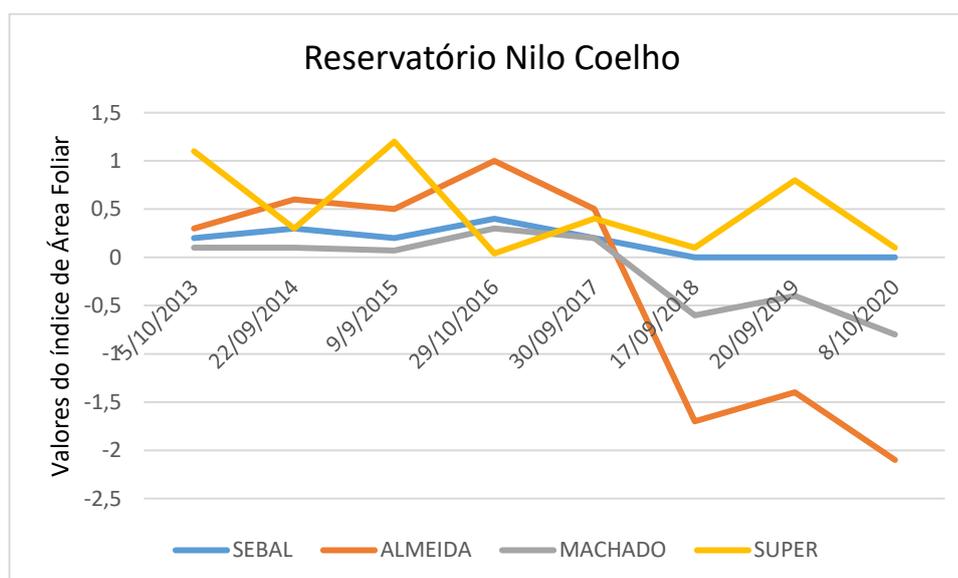
Estudos que correlacionam a altitude de reservatórios com a presença de fitoplâncton não são abundantes na literatura, no entanto, foi possível perceber que esta variável é importante no adensamento destes grupos algais, onde, as áreas de menor altitude representam a maior profundidade do reservatório, favorecendo a reprodução de fitoplâncton, pois são áreas onde a matéria orgânica está mais concentrada. A área imageada fica próxima ao barramento do reservatório, local em que há um maior revolvimento das águas devido aos sistemas de abertura de vazão, isso faz com que a matéria orgânica esteja sempre em movimento, alimentando e favorecendo a reprodução dos fitoplânctons.

9.2.2 Validação do IAF obtido por meio do SUPer para o reservatório Nilo Coelho

Primeiramente, foi observado o comportamento espectral do IAF quando submetido às Equações (8), (9) e (10) e depois comparados ao IAF médio do SUPer.

As datas das imagens Landsat analisadas nesse estudo serviram como referência para a escolha dos valores do IAF do SUPer para os anos de 2013 a 2022. Então, foi selecionada a órbita 217 e o ponto 065 que contempla o reservatório Nilo Coelho para cada ano analisado, as datas selecionadas foram: 05/10/2013, 22/09/2014, 09/09/2015, 29/10/2016, 30/09/2017, 17/09/2018, 20/09/2019 e 08/10/2020 (Figura 19).

Figura 19. Valor médio do IAF do SEBAL, Almeida, Machado e SUPer para o reservatório Nilo Coelho entre os anos de 2013 a 2020.



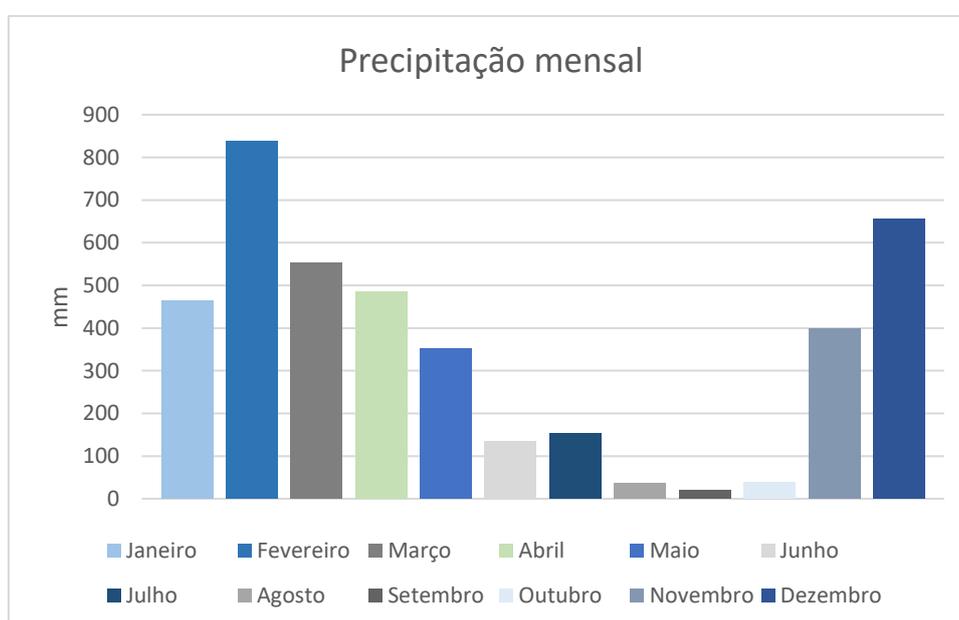
Fonte: A autora (2022).

O IAF das cenas Landsat 8 – OLI analisadas correspondem ao período seco. As quatro equações indicam que o IAF do reservatório seguiu um comportamento padrão para a área, indicando pouca cobertura vegetal e em alguns momentos áreas de solo exposto. As quatro equações apresentaram distintos valores quanto ao IAF, em 2013 os valores variaram entre 0,1 e 1,1. Já em 2014, os valores de IAF ficaram entre 0,1 e 0,6. Em 2015 houve um aumento mais significativo, onde a equação de Machado apresentou um valor de 0,07 e a do Super de 1,2.

Em 2016, o valor passou de 0,04 para 1, já em 2017 o IAF apresentou valores bem próximos, aumentando de 0,2 para 0,4. Nos demais anos, as equações apresentam valores de IAF bem distintos, sendo mais similares as equações do Sebal e a do SuPer para os anos de 2014, 2016, 2017, 2018 e 2020.

Buscando investigar estes resultados, fez-se a verificação da precipitação, realizando a soma dos meses correspondentes ao longo de 10 anos, compreendendo o período de 2013 a 2022 (Figura 20).

Figura 20. Precipitação média mensal da bacia de Terra Nova (2013 a 2022).



Fonte: Adaptado de INMET (2022).

Os meses que mais apresentaram ocorrência de chuvas são: janeiro, fevereiro, março e dezembro. A média de precipitação mensal para o mês de janeiro foi de 465,1 mm, o mês de fevereiro apresentou uma média de 800 mm, sendo o mês com maior ocorrência de chuvas para o período analisado. Já o mês de março apresentou uma média de 551,7 mm e o mês de dezembro teve uma média de precipitação de 656,6 mm.

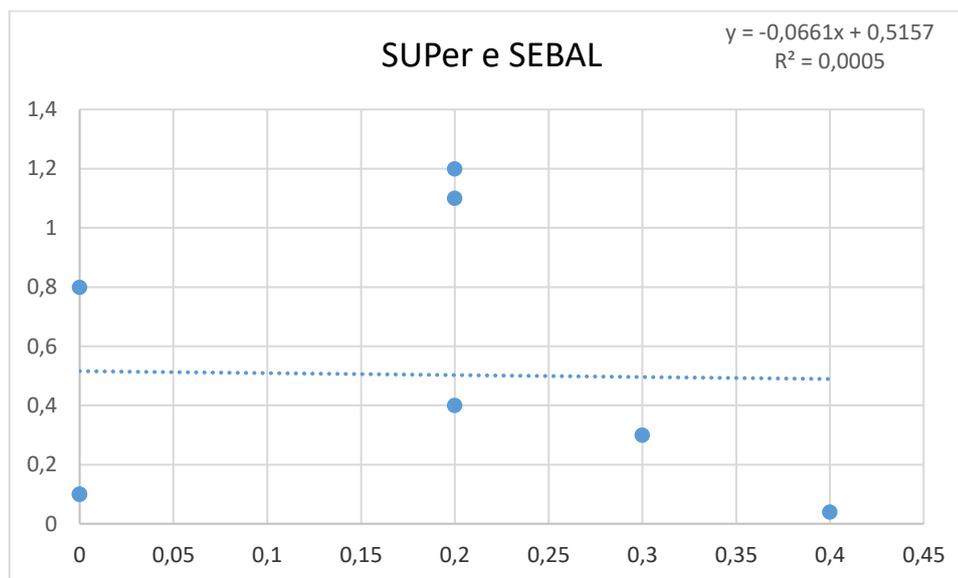
As imagens de satélite analisadas correspondem aos meses de setembro e outubro e o acumulado hídrico não teve resultados significativos, o mês de setembro teve uma precipitação de 19,8 mm e o mês de outubro registrou 39,5 mm.

A obtenção do IAF por meio do SUPer contribui para uma maior análise de dados, isto se deve ao fato dos seus dados serem estimados, não estando sob

interferência atmosférica. Em seguida, foi realizado o coeficiente de correlação do IAF do SUPer com os demais IAF correspondentes às equações de ALLEN et al. (2002) (Eq. 8), ALMEIDA et al. (2019) (Eq. 9) e MACHADO et al. (2014) (Eq. 10).

A Figura 21 representa a correlação entre o IAF do SUPer com o do SEBAL.

Figura 21. Correlação linear entre o IAF do SUPer e o IAF do SEBAL.

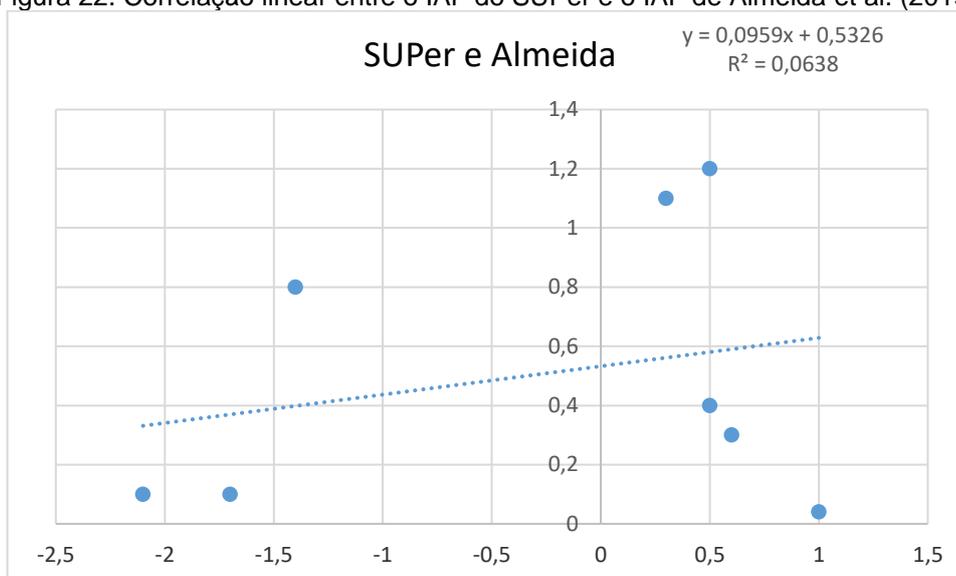


Fonte: A autora (2023).

A correlação linear entre o IAF do SUPer e o do SEBAL apresentou um coeficiente de correlação $R^2 = 0,05$, constatando que não há uma boa correlação entre os dois.

A Figura 22 corresponde a correlação linear entre o IAF do SUPer e o de Almeida et al. (2019).

Figura 22. Correlação linear entre o IAF do SUPer e o IAF de Almeida et al. (2019).

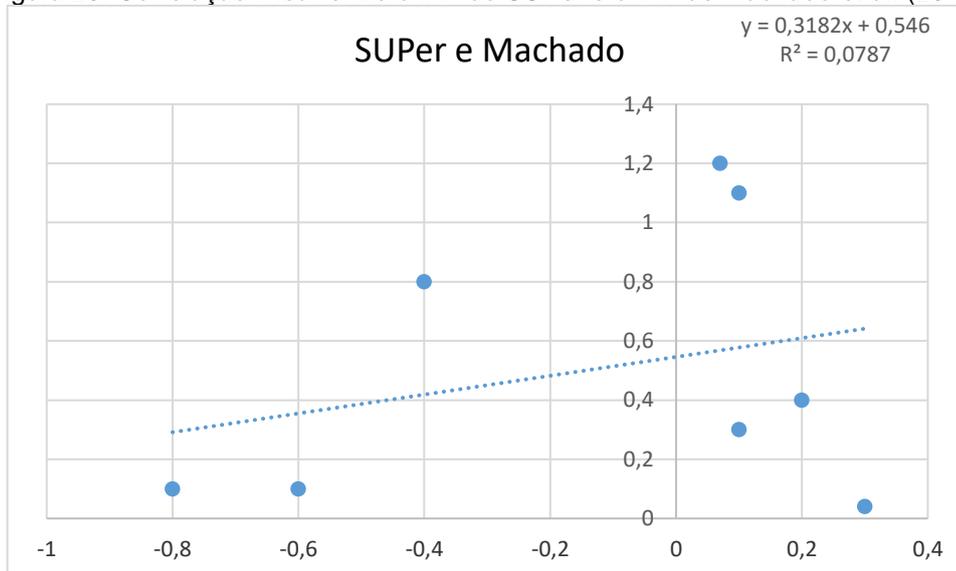


Fonte: A autora (2023).

A correlação linear aplicada entre o IAF do SUPer e o de Almeida et al. (2019) apresentou um valor $R^2 = 0,06$, indicando que não há correlação entre os dois.

A Figura 23 representa a correlação linear entre o IAF do SUPer e o de Machado et al. (2014).

Figura 23. Correlação linear entre o IAF do SUPer e o IAF de Machado et al. (2014).



Fonte: A autora (2023).

Apesar, da correlação entre o IAF do SUPer e o de Machado et al. (2014) apresentarem um valor $R^2 = 0,07$, levemente maior que as demais correlações, ainda assim, não há correlação entre eles.

O resultado das correlações lineares mostrou que não há correlação entre o IAF do SUPer com os demais IAF analisados nessa pesquisa, porém, quando é feita uma análise isolada do IAF do SUPer é possível encontrar uma paridade entre os resultados.

10 CONCLUSÕES

O uso das geotecnologias permite a análise da superfície terrestre, sua utilização é essencial para o monitoramento ambiental. O presente estudo analisou as mudanças temporais e espaciais do IAF na Bacia Hidrográfica de Terra Nova para o período de 2013 a 2022, identificando que a área de estudo possui uma dinâmica vegetal padrão quanto a sua distribuição espacial.

O padrão climático na bacia de Terra Nova apresenta baixo acumulado hídrico e grande parte da água precipitada é evapotranspirada. A vegetação da área de estudo é caracterizada por Caatinga arbórea e arbustiva e este comportamento climático interfere na dinâmica foliar da bacia, diminuindo gradativamente o seu IAF.

O uso de drones se mostrou eficaz para a avaliação da cobertura vegetal e quando associado às outras ferramentas geotecnológicas, como o Adiva, permitiu analisar, com detalhe, o IAF do entorno do reservatório. Alterações na coloração de sua água, que refletindo tons de verde indicaram a presença de atividade fitoplanctônica.

O uso do MDE permitiu identificar que as áreas de maior ocorrência de comunidades algais são encontradas nas áreas de menor altitude e maior profundidade do reservatório, se adensando principalmente próximo ao barramento.

Com relação ao uso do solo, foi possível perceber um aumento nas áreas de formação florestal da bacia. Em contrapartida, as áreas de pastagem foram reduzidas, e o uso do solo para a agricultura praticamente duplicou entre os anos de 2013 e 2021.

O SUPer é uma ferramenta que vem se fortalecendo a cada ano, mostrando ser uma alternativa eficiente para o monitoramento ambiental, suas calibrações são cada vez mais robustas, apesar dos seus resultados serem estimados.

Análises de regressão linear realizadas entre o IAF do SUPer e o IAF de imagens de satélite não garantiram uma associação precisa, carecendo de mais investigações. Diante disso, torna-se necessário mais pesquisas que analisem os índices de vegetação a partir do SUPer para que esta ferramenta se torne cada vez mais precisa e eficiente no monitoramento ambiental.

Este estudo é uma tentativa inicial de mapear o IAF a partir de imagens de drone com o Adiva, portanto, muitas análises futuras precisam ser realizadas. Além do IAF, outros índices de vegetação podem ser testados utilizando imagens de

drone com o Adiva, como NDVI, NDWI e SAVI, então, há muitas possibilidades de análise ambiental a serem realizadas utilizando esta ferramenta. O Adiva mostrou-se ser uma ferramenta muito promissora na estimativa e mapeamento do IAF em regiões semiáridas.

Esta pesquisa analisou a dinâmica da vegetação e o seu comportamento frente a precipitação e ao uso do solo em uma bacia hidrográfica. A análise do IAF indicou o estado da vegetação da bacia de Terra Nova, no entanto, torna-se necessário a realização de estudos de campo para que haja uma maior escala de detalhe da área. Pesquisas futuras poderão fornecer uma comparação desses resultados com a dinâmica do NDVI, NDWI e SAVI.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K. C. et al. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale swat model. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 524, p. 733-752, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027>.
- ABDON, M. M.; SILVA, J. S. V.; FERNANDES, A.E. Detecção de queimadas do Alto Paraguai através de dados do NOAA/AVHRR. In: Encontro sobre sensoriamento remoto aplicado a estudos no Pantanal, 1., Corumbá-MS., 9 - 12 out., 1995. **Anais**.
- ACCIOLY, L. J. de O. Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil. Embrapa Solos-Artigo de divulgação na mídia (**INFOTECA-E**), 2010.
- ADI, N. S.; PHINN, S.; ROELFSEMA, C. Estimating the diffuse attenuation coefficient from moderate spatial resolution, multi-spectral satellite data in a seagrass environment. In: 2013 IEEE **International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS**. IEEE, 2013. p. 310-313.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. Apresenta dados históricos do volume percentual dos reservatórios monitorados pela ANA**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/>. Acesso em: 07 out. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO (ANAC). Requisitos Gerais Para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil. REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL ESPECIAL (RBAC-E nº) 94, 2017. Disponível em: [RBACE94EMD00.pdf \(anac.gov.br\)](https://www.anac.gov.br/REGULAMENTO%20BRASILEIRO%20DA%20AVIAÇÃO%20CIVIL%20ESPECIAL%20(RBAC-E%20n%C2%BA%2094).pdf). Acesso em: 07 set. 2022.
- ALENCAR, V. E. S. A. et al. Análise de Parâmetros de Qualidade da Água em Decorrência de Efeitos da Precipitação na Baía de Guajará – Belém – PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 661-680, 2019. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p661-680>.
- ALEXAKIS, D. D. et al. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 413-426, 26 fev. 2014. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-14-413-2014>.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) - Advanced Training and Users Manual - **Idaho Implementation**, version 1.0, 2002, 98p.
- ALMEIDA, C. L.; CARVALHO, T. R. A.; ARAÚJO, J. C. Leaf area index of Caatinga biome and its relationship with hydrological and spectral variables. **Agricultural And Forest Meteorology**, [S.L.], v. 279, p. 107705, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107705>.
- ALVES DE OLIVEIRA, R. C. 2001. Monitoramento de fatores físicoquímicos de represas utilizadas para criação de *Colossoma macropomum* no Município de

CARLINDA, Mato Grosso. 2001. Ciências Agrárias. Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, Mato Grosso.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília-DF: ANA, 2017. Disponível em: <http://acervo.socioambiental.org/acervo/livros/conjuntura-dos-recursos-hidricos-no-brasil-2017-relatorio-pleno>. Acesso em: 10 abr. 2022.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico -. **Eixo Norte do PISF tem estação de bombeamento inaugurada em Cabrobó (PE)**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/eixo-norte-do-pisf-tem-estacao-de-bombeamento-inaugurada-em-cabrobo-pe>. Acesso em: 06 jan. 2023.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR): Nordeste e Semiárido**. Nordeste e Semiárido. 2023. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/nordeste-e-semiarido/pernambuco>. Acesso em: 11 maio 2023.

ANDRADE, C. W. L. et al. Modelagem Hidrológica de uma sub-bacia do Alto Mundaú utilizando o modelo SWAT. **XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste-ABRH**, Aracajú, SE, Brasil, ABRH. pp. 01-10.

ANDRADE, A.R.S., et al. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress* [online] 3. Disponível: <https://doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1668.126-145>. Acesso: 01 nov. 2018.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima (2022). **Bacias Hidrográficas - Rio Terra Nova**. Disponível em: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/207-bacia-dorio-terra-nova>. Acesso em: 02 jul. 2021.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 257-262, abr. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622003000200014>.

ASNER, G. P.; SCURLOCK, J. M. O.; HICKE, J. A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. **Global Ecology And Biogeography**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 191-205, 11 abr. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1466-822x.2003.00026.x>.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. EMBRAPA-CEPAGRI, São Paulo, agosto, 82 p, 2008.

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. M. Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 2, p. 188-202, 2015.

AULA FILHO, F. J. et al. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 91, n. 2, p. 424-428, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.022>.

AYYOUB, A. et al. Uma abordagem simples e alternativa baseada na evapotranspiração de referência e no índice de área foliar para estimar a transpiração arbórea em regiões semiáridas. **Gestão Agrícola da Água**, v. 188, p. 61-68, 2017.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. da; RODRIGUES, M. F.G. Previsão estatística das chuvas de outono no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 19-30, 1998.

AZEVÊDO, D. J. S. et al. Medidas de diversidade em comunidades de macroinvertebrados e zooplâncton relacionadas ao estado trófico de reservatórios subtropicais: respostas contraditórias ou complementares? **Indicadores Ecológicos**, 50, 135–149.

BARBOSA, C. C. F.; MORAES NOVO, E. M. L.; MARTINS, V. S. (Ed.). **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019.

BARROS, KOB. Índice de aridez como indicador da susceptibilidade à desertificação na mesorregião norte de Minas. 2010. 89 f. **(Monografia)** (Bacharel em Geografia)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

BASTIAANSEN, W.G.M. *et al.* A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 212-213, p. 213-229, dez. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694\(98\)00254-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694(98)00254-6).

BATTUDE, Marjorie *et al.* Estimating maize biomass and yield over large areas using high spatial and temporal resolution Sentinel-2 like remote sensing data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 184, p. 668-681, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.030>.

BECKER, E. C. Comunidade planctônica, especialmente copépodos, da plataforma continental de Santa Catarina (26-29°S): associação com processos oceanográficos e estrutura de tamanho de fitoplâncton. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ecologia. 2014.

BEM, Carla et al. Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 41-50, 2013. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v10n1.p41-50>.

BENSUSAN, N. A. A impossibilidade de ganhar a aposta e a destruição da natureza. In: BENSUSAN, N. (Org.) *Seria melhor mandar ladrilhar? Biodiversidade como, para que, por quê.* Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2002. p.13 - 20.

BERTRAM, J.; BALANCE, R. A practical guide to the design and implementation of fresh water quality studies and monitoring programmes. **Published on behalf of United Nations Environmental Programme (UNEP) and World Health Organization (WHO), E & FN spon publishers**, p. 172-177,192, 1996.

BEZERRA, J. M. et al. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 73-84, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662014000100010>.

BEZERRA, L. A. V. et al. Limnological characteristics of a reservoir in semiarid Northeastern Brazil subject to intensive tilapia farming (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758). **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 47-59, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x2014000100007>.

BEZERRA, U.A. et al. Comparativo do índice NDWI entre os satélites Landsat-8 e Sentinel-2 no entorno do reservatório Poço da Cruz – PE. **Anais do XXIII** 3606, 2019.

BISWAS, Sujata; SUDHAKAR, S.; DESAI, V. R. Prioritisation of subwatersheds based on morphometric analysis of drainage basin: a remote sensing and gis approach. **Journal Of The Indian Society Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 155-166, set. 1999. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02991569>.

BORICS, G., T., B. et al. Functional phytoplankton distribution in hypertrophic systems across water body size. **Hydrobiologia** **764**, 81–90 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2268-3>.

BORNE, Thiago. ROBOTIZAÇÃO: implicações econômicas, políticas e securitárias do uso de drones na era digital. **Conjuntura Austral**, [S.L.], v. 5, n. 23, p. 83, 6 maio 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://dx.doi.org/10.22456/2178-8839.41713>.

BRASIL, José Bandeira et al. Characteristics of precipitation and the process of interception in a seasonally dry tropical forest. **Journal Of Hydrology: Regional Studies**, [S.L.], v. 19, p. 307-317, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.10.006>.

BRASIL. **Ministério da Integração Nacional**. Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: Projeto Básico Ambiental – PBA. (2005). Parte C – Item 22. Brasília, 33p.

BRASIL. **Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: Relatório de Impacto Ambiental - RIMA**. Brasil: Ministério da Integração Nacional, 2004. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ProjetoRioSaoFrancisco/ArquivosPDF/docu mentostecnicos/RIMAJULHO2004.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022.

BRASIL. **POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS**: lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 19 out. 2022.

BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. A.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e índice de área foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria–MS. **Revista Percursos**, v. 7, n. 2, p. 5-22, 2015.

BRESSIANI, D. A. et al. Effects of spatial and temporal weather data resolutions on streamflow modeling of a semi-arid basin, Northeast Brazil. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 125-139, 2015.

BRITO, P. V. S.; OLIVEIRA, T. S.; MORAIS, Y. C. B. Análise da sazonalidade da vegetação de caatinga do município de Petrolina (Pernambuco) a partir de imagens do satélite Landsat 8-OLI. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 1, 2020.

BRITANNICA. Phytoplankton. 2023. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/plankton#ref183052>. Acesso em: 20 jan. 2023.

BRÚSSOLO, R. G., PEZZOPANE, J. R. M., & VECCHIA, F. A. (2018). Comparação termohigrométrica de sub-altitude em área urbana e rural em São Carlos, Brasil, por meio de VANT/DRONE. In **Anais do 20º Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas.

CALIJURI, M. C.; ALVES, M. S. A. A.; SANTOS, A. C. A. Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais. São Carlos: RiMa, 2006. 118p.

CHABOT, C., and D. M. Bird. 2015. "Wildlife Research and Management Methods in the 21st Century: Where Do Unmanned Aircraft Fit In?" *Journal Unmanned Veh Systems* 3: 137–155. doi:10.1139/juvs-2015-0021.

CHAGAS, C. S. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 218-226, fev. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000200014>.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised landsat-5 tm radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing**, [S.L.], v. 41, n. 11, p. 2674-2677, nov. 2003. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tgrs.2003.818464>.

CHAVES, M. E. D.; PICOLI, M. C. A.; SANCHES, I. D. Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for Land Use and Land Cover Mapping: a systematic review. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 18, p. 3062, 18 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12183062>.

CHEN, M.; WILLGOOSE, G. R.; SACO, P. M. Investigating the impact of leaf area index temporal variability on soil moisture predictions using remote sensing vegetation data. **Journal Of Hydrology**, [S.L.], v. 522, p. 274-284, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.027>.

CNRH, Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **RESOLUÇÃO Nº 47, DE 17 DE JANEIRO DE 2005.** 2005. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2047.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2023.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente -. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 302, DE 20 DE MARÇO DE 2002.** Disponível em: https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_302.pdf. Acesso em: 05 jan. 2023.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente -. **Resolução Nº 357 DE 17/03/2005.** 2005. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=102255>. Acesso em: 10 jan. 2023.

CÓRCOLES, Juan I. et al. Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. **Biosystems Engineering**, [S.L.], v. 115, n. 1, p. 31-42, maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.02.002>.

CORREIA, R. C. et al. A região Semiárida Brasileira. In: Voltolini, T.V. (Org.). Produção de caprinos e ovinos no semiárido. Petrolina-PE: **Embrapa Semiárido**, v. 1, p. 21-48, 2011.

COSTA, D. F.; BARBOSA, J. E. L; DANTAS, E. W. Productivity–diversity relationships in reservoir phytoplankton communities in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 129, p. 64-70, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.02.010>.

COSTA, I. A. S. et al. Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 02, p. 382-401, 2009.

COSTA, Paulo Victor Maciel; OJIMA, Ricardo. Transposição do rio São Francisco e a vulnerabilidade sociodemográfica: desafios ao bem-estar da população sertaneja. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, 2020.

CRUZ, F. C. C. et al. Sustentabilidade de produção agrícola das famílias assistidas pelo Projeto de Transposição do Rio São Francisco em São José de Piranhas-PB. **(Trabalho de Conclusão de Curso)**, 2018.

DAS, B.K., Nandy, S.K., Gogoi, P. *et al.* Unraveling the phytoplankton altitudinal dynamics in relation to environmental variables in a Himalayan River, Teesta, India. *Aquat Sci* 84, 38 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00027-022-00869-0>.

DELAZERI, L. M. M.; CUNHA, D. A.; COUTO-SANTOS, F. R. Climate change and urbanization: Evidence from the semi-arid region of Brazil. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 12, n. 2, p. 129-154, 2018.

DU, X.; HUANG, Z. Ecological and environmental effects of land use change in rapid urbanization: the case of Hangzhou, China. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 81, p. 243-251, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.040>.

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil. **Diagnóstico e Prognóstico – ZAPE** (Silva, B. A., Coord.), escala: 1: 100.000. 2001.

ESTEVEZ, F.; AMADO, A. M. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: **Interciência**. 1998.

FANG, X. et al. Impacts and uncertainties of climate/CO₂ change on net primary productivity in Xinjiang, China (2000–2014): a modelling approach. **Ecological Modelling**, [S.L.], v. 408, p. 108742, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108742>.

FAO, Food and Agriculture Organization of The United Nations -. **Drought**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/water/drought/en/>. Acesso em: 20 set. 2022.

FATHY, Ismail et al. Effect of Topographic Data Accuracy on Watershed Management. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 16, n. 21, p. 4245, 1 nov. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph16214245>.

FERREIRA, F. L. V. et al. Tendência em séries hidrológicas e de mudanças no uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Guanhães, Minas Gerais. Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2020.

FERREIRA, J. G. A transposição das águas da bacia do rio São Francisco no contexto da resposta à seca do Nordeste. **Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (ANPPAS)**, 2017.

FERREIRA, P. S. et al. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 13–Vol. 21–jul/dez, 2017.

FREIRE-SILVA, J. et al. Ação automática GEE-SEBAL e do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER) para regiões hídricas de Serra Talhada no estado de Pernambuco. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 26, p. e33-e33, 2022.

FREIRE-SILVA, J; MIRANDA, R. Q; CANDEIAS, A. L. B. Análise dos Modelos Digitais de Elevação (PE3D, SRTM-30, SRTM-90, ASTER GDEM, TOPODATA, TANDEM-X, ALOS PALSAR e ALOS AW3D30) e a necessidade da produção de dados altimétricos em excelência no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1543-1555, 2022.

FREITAS, J.V. et al. Brazilian Forest at a glance. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**, 2009, 124p.

FU, J. et al. Geomorphology Classification of Shandong Province Based on Digital Elevation Model in the 1 Arc-second Format of Shuttle Radar Topography Mission

Data. Iop Conference Series: Earth and Environmental Science, [S.L.], v. 108, p. 032025, jan. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/108/3/032025>.

GALVÍNCIO, J. D. Relation of leaf water content with real evapotranspiration and biomass in Caatinga biome, using remote sensing data. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.05, 1545-155, 2017.

GALVINCIO, J. G. et al. ADIVA - Análise de Índice de Vegetação e Água. 2022.

GALVÍNCIO, J. D. et al. Correlação linear entre a precipitação e o Índice de Área Foliar do bioma Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 13, n. 07, p. 3304, 31 dez. 2020. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3304-3314>.

GAMEIRO, S. et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Revista Terræ**, Campinas, v. 13, p. 15-22, 2016.

GAN, Y. et al. A comprehensive evaluation of various sensitivity analysis methods: a case study with a hydrological model. **Environmental Modelling & Software**, [S.L.], v. 51, p. 269-285, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.031>.

GOGOI A, Taki K, Kumar M (2020) Dinâmica sazonal da distribuição de fases metálicas no rio tropical perene (Brahmaputra): destino ambiental e perspectiva de transporte. *Environ Res* 183:109265. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109265>.

GOMES, A. P. A. et al. COMPARING A SINGLE-SENSOR CAMERA WITH A MULTISENSOR CAMERA FOR MONITORING COFFEE CROP USING UNMANNED AERIAL VEHICLES. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 87-97, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v41n1p87-97/2021>.

HEINRICH, C. G. et al. Epilithic diatoms in headwater areas of the hydrographical sub-basin of the Andreas Stream, RS, Brazil, and their relation with eutrophication processes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 347-355, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x2014000400003>.

HOSSAIN, M.s. et al. The application of remote sensing to seagrass ecosystems: an overview and future research prospects. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 61-114, 13 dez. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.990649>.

HOSSEINI, M. et al. Estimation of Leaf Area Index (LAI) in corn and soybeans using multi-polarization C- and L-band radar data. **Remote Sensing Of Environment**,

[S.L.], v. 170, p. 77-89, dez. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.09.002>.

HUANG, L. et al. Annual variability in leaf area index and isoprene and monoterpene emissions during drought years in Texas. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 92, p. 240-249, ago. 2014. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.016>.

IDE, A. K., ANDRADE, M. C. K., 2017. Impactos da perenização do riacho terra nova na agricultura irrigada do município de Cabrobó/PE. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade** [online] 10. Disponível em: <https://www.cadernosuninter.com/index.php/meioAmbiente/article/view/499>. Acesso em: 10 set. 2022.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia -. Banco de Dados Meteorológicos. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

INSAF, T. Z.; LIN, S.; SHERIDAN, S. C. Climate trends in indices for temperature and precipitation across New York State, 1948–2008. **Air Quality, Atmosphere & Health**, v. 6, n. 1, p. 247-257, 2013.

IORIO, Marcela Malvão et al. AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO EXTRAÍDOS DE IMAGEM ALOS/PRISM E COMPARAÇÃO COM OS MODELOS DISPONIBILIZADOS GRATUITAMENTE NA WEB. **Geosciences= Geociências**, v. 31, n. 4, p. 650-664, 2012.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **AR6Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University, 2021. Disponível em: [IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wgii/). Acesso em: 09 ago. 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **AR6Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University, 2021. Disponível em: [IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wgii/). Acesso em: 09 ago. 2021.

ISHIHARA, M. I.; HIURA, T. Modeling leaf area index from litter collection and tree data in a deciduous broadleaf forest. **Agricultural And Forest Meteorology**, [S.L.], v. 151, n. 7, p. 1016-1022, jul. 2011. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.02.007>.

JEPPESEN, E. et al. Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. **Hydrobiologia**, [S.L.], v. 750, n. 1, p. 201-227, 28 jan. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-014-2169-x>.

JORGE, L. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. 2014.

KINIRY, J. R. et al. Simulating Alamo Switchgrass with the ALMANAC Model. **Agronomy Journal**, [S.L.], v. 88, n. 4, p. 602-606, jul. 1996. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800040018x>.

KUMAR, P. et al. Assessment of seasonal variation in water quality dynamics in river varuna—a major tributary of River Ganga. *Int J Adv Res*, v. 3, n. 3, p. 1176-1193, 2015.

KUTLU, B., Aydın, R., Danabas, D. et al. Temporal and seasonal variations in phytoplankton community structure in Uzuncayir Dam Lake (Tunceli, Turkey). *Environ Monit Assess* **192**, 105 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8046-3>

LACERDA, F. F. et al. E. Long term climate trends over Nordeste Brazil and Cape Verde. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 2015.

LEONARDO, H. R. A. L. et al. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Foz do Iguaçu, PR, Trabalho XXIII-SBRH0919.

LI, Y. et al. Assimilating remote sensing information into a coupled hydrology-crop growth model to estimate regional maize yield in arid regions. *Ecological Modelling*, [S.L.], v. 291, p. 15-27, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.07.013>.

LI, Z.; ZHU, C.; GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. CRC press, 2004.

LI, Z.; GUO, X. A suitable vegetation index for quantifying temporal variation of leaf area index (LAI) in semiarid mixed grassland. *Canadian Journal of Remote Sensing*, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 709-721, dez. 2010. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.5589/m11-002>.

LINS et al. PARÂMETROS DO BALANÇO HÍDRICO ESTIMADOS VIA SENSORIAMENTO REMOTO EM BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO. **XXVIII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem (Conird)**, 2019.

LINS, F. A. C. et al. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido Pernambucano utilizando sensoriamento remoto. *Irriga*, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 64-75, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p64-75>.

LUCENA, C. Y. S. A Serra de Santana no semiárido nordestino: aspectos geográficos e possibilidade de práticas sustentáveis. 2021. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

LUZ, G. G; GALVINCIO, J. D. Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPer. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 02, p. 1094-1107, 2021.

LUZ, G. G.; GALVÍNCIO, J. D. Balanço de radiação com imagens captadas com Drones. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 1169, 1 maio 2022. **Revista Brasileira de Geografia Física**. <http://dx.doi.org/10.26848/rbqf.v15.2.p1169-1179>.

MACHADO, C. C. C. Alterações na superfície do Parque Nacional do Catimbau (PE-Brasil): consolidação dos aspectos biofísicos na definição dos indicadores ambientais do bioma Caatinga. (**Tese de Doutorado**), 2014.

MAGALHÃES, A. G. et al. Hydrological modeling of an experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S.L.], v. 13, n. 6, p. 1, 31 out. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2204>.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 429-440, 2013.

MARENGO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, p. 385-422, 2011.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 517-523, mar. 1987. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431168708948658>.

MARTINS, A. P. et al. Uso de dados do sensor Modis/Água e do algoritmo Sebal para estimativa da evapotranspiração real na bacia do Rio Paranaíba. 2015. Tese (doutorado).

MEDEIROS, F. A. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão. Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 122f. (**Dissertação**).

MENDONÇA, J. C. et al. Coeficiente de cultivo (KC) da cana-de-açúcar em Região Subúmida do Brasil, pela aplicação do algoritmo SEBAL e produtos MODIS. In: SILVA, B. B. **Aplicações Ambientais Brasileiras com Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Campina Grande: EDUEFCG, 2013, 217p.

MENDONÇA, J. C. et al. Monitoring Water Quality in a Reservoir of the Semi-arid Region Using Remote Sensing. *Methodology*, 2015.

MENEZES, B.S. Variação temporal de copepoda (crustacea) em torno da Rebio Arvoredo (27°11'-27°16's e 48°19'-48°24'w): grupos funcionais, interação com o microplâncton e com a dinâmica das massas de água. Dissertação. UFSC, Florianópolis, 2018.

MIRANDA, R. Q et al. Realistic and simplified models of plant and leaf area indices for a seasonally dry tropical forest. **International Journal of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.L.], v. 85, p. 101992, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2019.101992>.

MIRANDA, R. Q. Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na Caatinga. 2017. **(Tese de doutorado)**.

MOLISANI, M. et al. The influence of castanhão reservoir on nutrient and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral Jaguaribe river (CE, Brazil). **Brazilian Journal Of Biology**, [S.L.], v. 73, n. 1, p. 115-123, fev. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-69842013000100013>.

MONDINO, E. B.; GAJETTI, M. Preliminary considerations about costs and potential market of remote sensing from UAV in the Italian viticulture context. **European Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 50, n. 1, p. 310-319, jan. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/22797254.2017.1328269>.

MONTAGNOLI, A. et al. Conversion from coppice to high stand increase soil erosion in steep forestland of European beech. **Reforesta**, [S.L.], n. 2, p. 60-75, 26 dez. 2016. Reforesta. <http://dx.doi.org/10.21750/refor.2.07.22>.

MONTENEGRO, S. M. G. L. et al. Hydrological studies in experimental and representative basins in Pernambuco State, Brazil. **Proceedings Of The International Association Of Hydrological Sciences**, [S.L.], v. 364, p. 422-428, 16 set. 2014. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/piahs-364-422-2014>.

MORAES, E. C. Capítulo 1 Fundamentos de Sensoriamento Remoto. 2002.

MORAES, F. Entenda como são feitos os relatórios do IPCC. O ECO, Rio de Janeiro. 27 set 2013. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27621-entendacomo-sao-feitos-os-relatorios-do-ipcc/>. Acesso em: 02 ago. 2021.

MARQUES, D. M. M, et al. Projeto P&D ANEEL/BAESA/ENERCAN: “Dinâmica da Estrutura Trófica Associados ao Uso da Bacia Hidrográfica e Operação do Reservatório”. Termo de Cooperação Técnica Nº:P&D 3936-1312/2012. 2017.

MOURA, M. S. B. et al. Clima e água de chuva no Semi-Árido. 2007.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **LANDSAT 8**. 2023. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>. Acesso em: 04 jan. 2023.

NASCIMENTO, R. Q., Santos, J. Y. G., 2019. Análise das Alterações Ocorridas no Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio das Fêmeas, Estado da Bahia.

NETO, M. V. B. et al. Degradação do solo por erosão em área vulnerável à desertificação no semiárido pernambucano. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S.L.], p. 4406-4416, 2017. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP. <http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1929>.

NETO, Gastão Cerquinha da Fonseca et al. Abordagem hidro-social de reservatórios no semiárido pernambucano: estudo de caso do reservatório Nilo Coelho no rio Terra Nova. **Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2021. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

NOVO, E. M. L. de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Blucher, 2008. 387p.

OLIVEIRA, A. J. de et al. POTENCIALIDADES DA UTILIZAÇÃO DE DRONES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO / DRONES POTENTIALITY USE IN PRECISION AGRICULTURE. **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n9-010>.

OLIVEIRA, C. S. P. de et al. Reflexões sobre o desafio ambiental: níveis de eutrofização e floração de cianobactérias na bacia Apodi-Mossoró. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 519-530, 5 jun. 2020. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.005.0047>.

OLIVEIRA, J. D. Alves et al. Avaliação de Degradação e Mudanças Ambientais na Bacia Hidrográfica do Alto Ipanema. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 585-596, dez. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786354062>.

OLIVEIRA, Jose D. A. et al. Space-temporal evaluation of biophysical parameters in the High Ipanema watershed by remote sensing. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 357, 14 fev. 2018. Journal of Hyperspectral Remote Sensing. <http://dx.doi.org/10.29150/jhrs.v7.6.p357-366>.

O'NEIL, J.M. et al. The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. **Harmful Algae**, [S.L.], v. 14, p. 313-334, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.027>.

PACUERA, Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno dos Reservatórios Artificiais, item 14 do PBA do PISF.

PAGOTTO, M. A. et al. Influence of regional rainfall and Atlantic sea surface temperature on tree-ring growth of *Poincianella pyramidalis*, semiarid forest from Brazil. **Dendrochronologia**, [S.L.], v. 35, p. 14-23, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2015.05.007>.

PAIVA, Y. G. Estimativa do índice de área foliar por métodos óticos e sensoriamento remoto para calibrar modelo ecofisiológico em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado. **(Dissertação)** 2009.

PATANÈ, C. Leaf Area Index, Leaf Transpiration and Stomatal Conductance as Affected by Soil Water Deficit and VPD in Processing Tomato in Semi Arid

Mediterranean Climate. **Journal Of Agronomy And Crop Science**, [S.L.], v. 197, n. 3, p. 165-176, 28 dez. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037x.2010.00454.x>.

PAUL, M. et al. Improved agricultural Water management in data-scarce semi-arid watersheds: value of integrating remotely sensed leaf area index in hydrological modeling. **Science Of the Total Environment**, [S.L.], v. 791, p. 148177, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148177>.

PAULA FILHO, F. J. et al. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 91, n. 2, p. 424-428, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.022>.

PBA-22, Plano Básico Ambiental - Programa de Monitoramento de Qualidade de Água e Limnologia do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, item 22 do PBA do PISF. **Relatório Anual de Execução nº 21 – Eixo Norte**.

PEETERS, Edwin T.H.M. et al. Assessing ecological quality of shallow lakes: does knowledge of transparency suffice?. **Basic And Applied Ecology**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 89-96, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2007.12.009>.

PELSER, Jacobus Johannes. Evaluation of selected restoration technologies in degraded areas of the Mokala National Park, South Africa. 2017. **(Tese de Doutorado)**. North-West University (South Africa).

PERUZZO, J. S. et al. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento ambiental da bacia do Alto Piranhas, Semiárido Nordestino (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, 2019.

PICCIN-SANTOS, V.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C. Toxic Cyanobacteria in Four Brazilian Water Supply Reservoirs. **Journal Of Environmental Protection**, [S.L.], v. 03, n. 01, p. 68-73, 2012. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2012.31009>.

PHOTOSCAN. Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.0. Agisoft. 2014. Disponível em: http://www.agisoft.ru/pdf/photoscan_pro_1_0_en.pdf. Acesso em: 04 jan. 2023.

PUSCOV, Johan. Flight System Implementation in UAV. **Examensarbete utfört vid Fysikinstitutionen, KTH, SCFAB Sommaren-Hösten**, 2002.

RECA, J.; GARCÍA-MANZANO, A.; MARTÍNEZ, J. Optimal pumping scheduling model considering reservoir evaporation. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v.

148, p. 250-257, jan. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.008>.

RÊGO, J. C. et al. A Gestão de recursos hídricos e a transposição de águas do rio São Francisco para o açude Epitácio Pessoa-Boqueirão. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, v. 22, p. 2017, 2017.

RIBEIRO, E. P. et al. Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Geosul**, Florianópolis, v. 31, n. 62, p. 59-92, 2016.

ROSS, J.: The radiation regime and architecture of plant stands, Boston' Junk, 381 pp., 1981.

ROY, D.P. et al. Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 185, p. 57-70, nov. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024>.

SÁ, I. B. et al. Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

SALLO, K. F. A. P.; VELASQUES, S. I. J. M. Análise das mudanças de uso e ocupação da terra nas microbacias do Cuiabá, São Lourenço e Pantanal entre os anos 2002 e 2014.

SAMPAIO, H. S. et al. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) e satélite. 2020.

SANTOS, J. C. N. et al. Land use and trophic state dynamics in a tropical semi-arid reservoir. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 35-44, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902014000100005>.

SANTOS, C. V. B. et al. Comparação de imagens multiespectrais utilizando Satélites e VANT para a análise de mudanças estruturais em área de Floresta Seca. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 06, p. 2510-2522, 2021.

SANTOS, M. Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal. Rio de Janeiro: Record, 2000.

SCHROEDER, W. et al. Active fire detection using Landsat-8/OLI data. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 185, p. 210-220, nov. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.032>.

SENTELHAS, P. C. et al. Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas, 1999 (**Boletim Técnico**).

SILVA, B. B. *et al.* Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: application to the brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 3-8, jan. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8>.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

SILVA, B. F. P. *et al.* Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 323-338, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862011000300001>.

SILVA, C. V. S. *et al.* MONITORAMENTO DA COBERTURA VEGETAL POR SENSORIAMENTO REMOTO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO ATRAVÉS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO. *Nativa*, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 708, 11 nov. 2019. **Nativa**. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7646>.

SILVA, E. R. A. C. *et al.* Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

SILVA, J. L. B. *et al.* Spatial distribution of biophysical parameters in the Ipanema River Basin using remote sensing techniques. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 324, 14 fev. 2018. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*. <http://dx.doi.org/10.29150/jhrs.v7.6.p324-333>.

SILVA, J. R. I. *et al.* EFEITO DE DIFERENTES USOS DO SOLO NA EROÇÃO HÍDRICA EM REGIÃO SEMIÁRIDA. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 272-283, 19 jun. 2019. *Revista Engenharia na Agricultura*. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v27i3.867>.

SILVA, R. M. *et al.* Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco. **Sociedade & Natureza**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 357-372, ago. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-45132010000200010>.

SILVEIRA, N. T. *et al.* Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 3, n. 3, 2022.

SILVEIRA, N. T. *et al.* Qualidade da Água e Modelagem Hidrológica: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 3, n. 3, 2022.

SILVERO, N. E. Q. et al. Soil variability and quantification based on Sentinel-2 and Landsat-8 bare soil images: a comparison. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 252, p. 112117, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2020.112117>.

SOARES, D. B. Degradação ambiental no semiárido pernambucano: contribuição ao estudo da desertificação. (**Dissertação de Mestrado**). Programa de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFPE, 2012.

SONMEZ, F., Kocer, M. A. T., Sen, B., & Alp, M. T. (2018). Estudo sobre a ocorrência de algas em um córrego altamente poluído com esgoto doméstico. **Boletim Ambiental Fresenius**, 27(11), 7863–7871.

SUDENE, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste -. **NOTA TÉCNICA Nº 05/2017/CGDS/DPLAN/SUDENE**. 2017. Disponível em: http://antigo.sudene.gov.br/images/2017/arquivos/NOTA_T%C3%89CNICA_n%C2%BA__05_-_2017.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

SUPER -Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco. **O que é o super**. 2022. Disponível em: <https://super.hawqs.tamu.edu/#>. Acesso em: 10 nov. 2022.

TAVARES, A. S. et al. Modeling of water erosion by the erosion potential method in a pilot subbasin in southern Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 555, 15 abr. 2019. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p555>.

TOLESSA, T.; SENBETA, F.; KIDANE, M.. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. **Ecosystem Services**, [S.L.], v. 23, p. 47-54, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.010>.

UNITED NATIONS. The Sustainable Development Agenda - United Nations Sustainable Development. About. [S.l:s.n.]. ,2018.

VANNIER, E., T., O., Dusséaux, R., Darboux, F. 2018. Using digital elevation models and image processing to follow clod evolution under rainfall. *Journal of Ecology and Toxicology*, 2.

VILLA, T. F., F. Gonzalez, B. Miljjevic, Z. D. Ristovski, and L. Morawska. 2016. “An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives.” *Sensors* 16: 1072. doi:10.3390/s16071072.

WACHHOLZ, F. et al. Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí-RS. 2011. Tese (Doutorado).

WANDERLEY, L. S. A. et al. Variação dos Índices de Vegetação da Caatinga no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Taperoá. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S.L.], p. 4988-5000, 2017. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP. <http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2207>.

WANG, Y. F., Zhao, X. L., He, B. H., & Huang, Q. (2015). The role of environmental and spatial processes in structuring stream macroinvertebrates communities in a large river basin. *Clean: Soil, Air, Water*, 42, 1–7.

WICAKSONO, P.; HAFIZT, M. Mapping Seagrass from Space: addressing the complexity of seagrass lai mapping. **European Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 18-39, jan. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.5721/eujrs20134602>.

WU, D. et al. Sensitivity of Vegetation Growth to Precipitation in a Typical Afforestation Area in the Loess Plateau: plant-water coupled modelling. **Ecological Modelling**, [S.L.], v. 430, p. 109128, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109128>.

WU, J.; LIANG, S. Assessing Terrestrial Ecosystem Resilience using Satellite Leaf Area Index. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 595, 11 fev. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12040595>.

ZANELLA, Maria Elisa. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZIMMERMAN, R. C. e A. G. Dekker. 2006. "Óptica aquática: conceitos básicos para entender como a luz afeta as ervas marinhas e as torna mensuráveis a partir do espaço." In **Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation**, editado por A. W. D. Oliveira, J. R.; Orth, e C. M. Duarte, 295-301. Dordrecht: Springer. DOI:10.1007/978-1-4020-2983-7_15.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J. R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural And Forest Meteorology**, [S.L.], v. 133, n. 1-4, p. 166-181, nov. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.09.009>.

ZHENG, G.; MOSKAL, L. M. Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: theories, methods and sensors. **Sensors**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 2719-2745, 17 abr. 2009. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s90402719>.

ZOU, W. et al. Analyzing the spectral response of submerged aquatic vegetation in a eutrophic lake, Shanghai, China. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 57, p. 65-71, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.008>.